

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA,
METALÚRGICA, CIVIL Y GEOGRÁFICA**

E.A.P. DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**Arquitectura estructural y sistema petrolero de la zona
noroccidental de la cuenca Ucayali**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Christian Augusto Hurtado Enríquez

ASESOR

Javier Jacay Huarache

Lima - Perú

2015

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue realizado gracias al marco convenio PERUPETRO-PETROLIFERA-IRD enfocado en el desarrollo de cuencas subandinas.

Mis más grandes agradecimientos al Dr. Patrice Baby, investigador encargado del los proyectos de investigación del IRD (Institute de Recherche pour le Développement) dentro del marco convenio IRD-PERUPETRO, por su confianza, amistad y conocimientos para el desarrollo del presente trabajo .

Al excelente grupo de geólogos del área de exploraciones de PERUPETRO, en especial al Ing. Rolando Bolaños por ser un consejero, un amigo y un guía dentro del desarrollo del proyecto. Seguidamente al MSc. Ysabel Calderón, Ing. Elmer Martínez, Ing. Pedro Cáceres por sus consejos y conocimientos aportados; también a todo el personal de banco de datos de PERUPETRO por el constante apoyo en brindarme la información necesaria para la realización de este trabajo.

Mis agradecimientos también a la empresa Gran Tierra Energy, en especial al Ing. Carlos Monges, Ing. Hugo Peliza y al Ing. Esteban Gobbo por sus valiosos consejos , a mi asesor en la UNMSM el MSc. Javier Jacay por brindarme sus observaciones y apoyo incondicional en este trabajo del mismo modo a los colegas y amigos MSc. Luis Reyes, Ing. Hugo Valdivia, Ing. Miguel Allca e Ing. Daniel Peña por guiarme con sus ideas y talento a que este proyecto se llegue a concretar.

Finalmente agradezco a mi madre, hermano y amigos por apoyarme siempre en la realización de mis metas.

RESUMEN

El presente estudio analiza la geometría, estratigrafía y sistema petrolero de la zona norte de la Cuenca Ucayali. Está basado en la recopilación e interpretación de información sísmica, pozos exploratorios y relevamientos geológicos.

El frente subandino peruano contiene un gran potencial hidrocarburífero aún por explorar. El descubrimiento de nuevos prospectos demanda la elaboración de nuevos conceptos a ser aplicados al estudio de las cuencas subandinas. El área de estudio está localizada en los lotes 107 y 133 que están concesionados a la empresa Petrolifera, y ubicados específicamente en la sub-Cuenca del Pachitea dentro de la Cuenca Ucayali norte, en los departamentos de Pasco, Huánuco y Ucayali.

La cuenca Ucayali estuvo expuesta a diversos eventos geodinámicos durante el Paleozoico y Mesozoico temprano y se constituyó como una cuenca de ante-país a partir del Cretácico superior. La secuencia estratigráfica actual presenta un apilamiento de series sedimentarias pre-cretácicas distintas en la zona norte de la zona sur de la cuenca Ucayali. Con el aporte de la nueva información sísmica, se ha podido reconocer incongruencias en los modelos estratigráficos actuales y también evidencias que ameritan la elaboración de un nuevo modelo estratigráfico y tectónico.

Los resultados muestran: 1) una mejor correlación estratigráfica de las unidades pre cretácicas en las zonas norte y sur de la cuenca Ucayali; 2) el papel preponderante de dos niveles de evaporitas controlando la deformación; 3) la presencia de un sistema petrolero paleozoico que se prolonga hacia la zona norte de la cuenca Ucayali; 4) la preservación de estructuras creadas por una tectónica compresiva pre-andina; 5) un posible potencial de estas estructuras pre-andinas como nuevos objetivos para futuras exploraciones.

Con el objetivo de proponer un diferente entendimiento evolutivo de la cuenca, se realizó un análisis geométrico de la deformación, el cual consiste en la elaboración de 4 cortes estructurales transversales distribuidos a lo largo de la sub-cuenca Pachitea. Se utilizó el método de secciones balanceadas para validar las interpretaciones para 3 cortes estructurales. Para el análisis estratigráfico, se utilizó la nueva sísmica junto con correlaciones estratigráficas de pozos y de campo a lo largo de la cuenca Ucayali.

El objeto final de este trabajo es optar el título profesional de ingeniero geólogo en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), siendo este financiado por el marco del convenio PERUPETRO-PETROLIFERA-IRD.

INDICE

I	INTRODUCCION.....	2
1.1.	Aspectos generales.....	2
1.2.	Ubicación y Extensión.....	4
1.3.	Accesibilidad.....	4
1.4.	Areas Naturales y Comunales Protegidas.....	6
1.5.	Geomorfología.....	8
1.6.	Planteamiento de la problemática geocientífica.....	8
1.7.	Objetivos del Estudio.....	9
1.8.	Metodología del Trabajo.....	11
	Adquisición e integración de información de superficie.....	11
	Integración de secciones sísmicas y pozos.....	11
	Interpretación de secciones sísmicas.....	11
	Interpretación de imágenes satelitales y DEM.....	11
	Elaboración de una nueva propuesta de modelo litoestratigráfico.....	12
	Conversión de secciones sísmicas de tiempo a profundidad.....	12
	Construcción de secciones estructurales.....	12
	Construcción de secciones balanceadas.....	12
II	CONTEXTO GENERAL Y ESTADO DE CONOCIMIENTO	14
2.1.	Marco General.....	14
2.2.	Datos de superficie y subsuelo.....	16
2.2.1.	Campañas de Campo.....	16
2.2.2.	Data sísmica.....	16
2.2.3.	Datos de Pozos.....	16
2.3.	Contexto Tectónico.....	20
2.3.1.	Introducción.....	20
2.3.2.	La Tectónica Andina.....	20
2.3.3.	La cuenca de ante - país Amazónica.....	21
2.3.4.	El papel del Cenozoico en las cuencas de ante-país Amazónicas.....	26
2.4	Cuadro estratigráfico regional.....	27
2.3	Modelo estructural cuenca Ucayali Norte.....	31
III	NUEVA DATA ADQUIRIDA.....	39
3.1.	Campañas de Campo.....	39
3.1.1.	Campaña Boqueron Padre Abad.....	39
3.1.2.	Campaña Río Palcazú.....	43
3.1.3.	Campaña Carretera San Matías.....	45

3.2. Interpretación Sísmica	47
3.3. Cartografiado Geológico.....	52
3.4. Correlaciones estratigráficas regionales: el problema?	55
3.5. Nueva propuesta estratigráfica	59
3.6. Deformación pre-cretácica: discusión	65
3.6.1. Rift Permo-Triásico	65
3.6.2. Orogenia Juruá.....	65
 IV CONSTRUCCION DE SECCIONES ESTRUCTURALES	 70
4.1. Conversión de sísmica de tiempo a profundidad.....	70
4.2. Secciones estructurales	72
4.3.- Construcción de secciones balanceadas	79
Sección A- A' (Oxapampa- San Matías- Shira)	83
Sección B- B' (Codo de Pozuzo-Shira).....	83
Sección C- C' (Tingo María- Boquerón Padre Abad- Agua Caliente).....	86
Sección D- D' (Boquerón Padre Abad-Iscozacín)	86
4.4.- Análisis Estructural	89
Sección San Matías.....	89
Sección Boquerón Padre Abad	92
 V SISTEMA PETROLERO.....	 97
Elementos del Sistema Petrolero	97
Procesos de un Sistema Petrolero	98
Sistema Petrolero de la cuenca Ucayali norte.....	99
Potencial Exploratorio de la cuenca Ucayali norte	108
 VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 111
 VII BIBLIOGRAFIA	 112
 VIII ANEXOS.....	 117

CÁPITULO I

<u>I</u>	<u>INTRODUCCION</u>	2
1.1.	Aspectos generales	2
1.2.	Ubicación y Extensión	4
1.3.	Accesibilidad	4
1.4.	Areas Naturales y Comunales Protegidas	6
1.5.	Geomorfología	8
1.6.	Planteamiento de la problemática geocientífica	8
1.7.	Objetivos del Estudio	9
1.8.	Metodología del Trabajo	11
	Adquisición e integración de información de superficie	11
	Integración de secciones sísmicas y pozos	11
	Interpretación de secciones sísmicas	11
	Interpretación de imágenes satelitales y DEM	11
	Elaboración de una nueva propuesta de modelo litoestratigráfico	12
	Conversión de secciones sísmicas de tiempo a profundidad	12
	Construcción de secciones estructurales	12
	Construcción de secciones balanceadas	12

CÁPITULO I INTRODUCCION

1.1 Aspectos generales

El presente trabajo corresponde a un estudio geológico regional integrado realizado en la zona noroccidental de la cuenca Ucayali (Figura 1) enfatizando en el análisis de la arquitectura estructural y sistemas petroleros presentes. La cuenca Ucayali cuenta con un excelente potencial hidrocarburífero ya conocido, albergando campos importantes como los de Camisea, Aguaytia, etc. El interés por encontrar nuevas estructuras y nuevos reservorios demanda la elaboración de nuevos modelos estructurales y sedimentarios.

La actividades exploratorias fueron adicionando mucho más información al transcurrir el tiempo. La nueva información ha permitido reconocer ciertas incongruencias y generar interrogantes como parte de la elaboración de nuevas propuestas. La importancia de este trabajo radica en la integración de la información ya existente con nueva información adquirida en estos últimos años. Cabe resaltar que el aporte principal consiste en la generación de nuevos resultados que puedan solucionar las grandes interrogantes estratigráficas y estructurales que alberga la Cuenca Ucayali Norte.

El presente estudio se ejecutó dentro del marco del convenio tripartito entre Perupetro S.A., el Institut de Recherche Pour le Développement (IRD) y la compañía Petrolífera. Con el objetivo de aportar al estado de conocimiento que ayude a la exploración de nuevos prospectos, se realizaron cuatro cortes estructurales distribuidos a lo largo de la sub-cuenca Pachitea y de los lotes 107 y 133, concesionados a la empresa Petrolifera (Figura 1). Para el análisis estratigráfico, se utilizó la interpretación de la nueva sísmica junto con correlaciones estratigráficas de pozos y de afloramientos a lo largo de la cuenca Ucayali Norte que permitan entender la distribución de estas unidades y la posibilidad de encontrar más de un sistema petrolero presente.

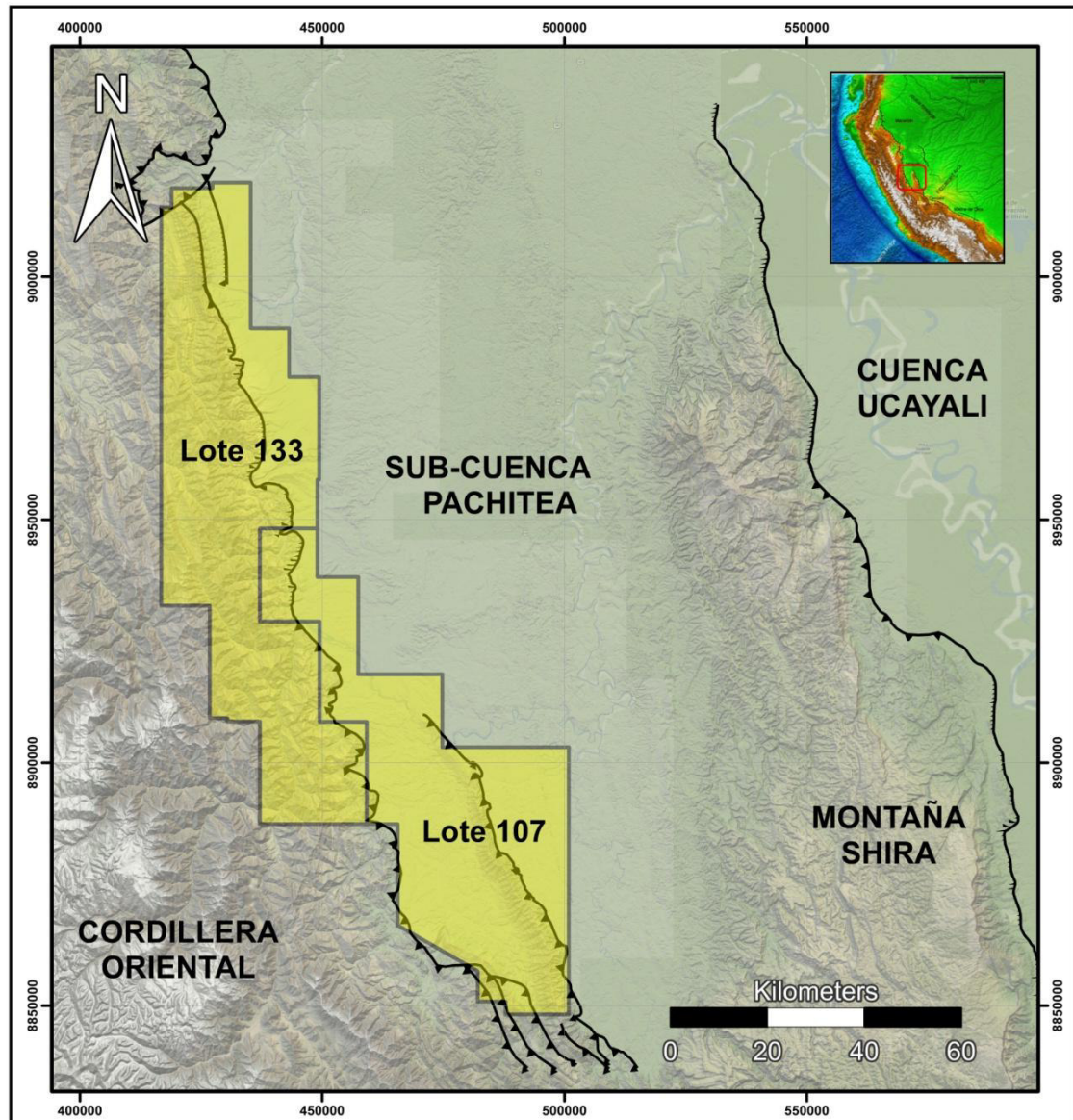


Figura 1: Ubicación del área de estudio y de los lotes 107 y 133 (Cuenca Ucayali Norte) operados por la empresa Petrolífera

1.2 Ubicación y Extensión

La Cuenca Ucayali Norte se encuentra entre los 08° y 11° de latitud sur y los 74° y 76° de longitud oeste abarcando a la sub-cuenca Pachitea, en los departamentos de Pasco, Huánuco y Ucayali. El área de estudio abarca una dimensión de 250 km², localizado entre el frente de montañas de la Cordillera Oriental y el sub-andino amazónico del centro del Perú (Figura 6 y Figura 8).

1.3 Accesibilidad

El área de estudio puede ser accesible tanto por vía terrestre, aérea y fluvial. Por vía terrestre, partiendo de Lima se puede acceder a la zona norte del área a partir de la carretera central pasando por los departamentos de Cerro de Pasco y Huánuco, accediendo los poblados de Tingo María, Aguaytia y Agua Caliente con una distancia de 450 km y una duración aproximada de 14 horas. Para acceder a la zona sur del área de trabajo es posible hacerlo por la carretera central pasando los departamentos de Cerro de Pasco y Puente Paucartambo, accediendo los poblados de Oxapampa, Villa Rica y Puerto Bermúdez con una distancia aproximada de 350 km y una duración de 10 horas.

Por vía fluvial el acceso se realiza para la zona norte desde Pucallpa por los ríos Ucayali, Aguaytia y Yuracyacu pasando por los poblados de Boca Santa Ana y Boca San Alejandro. En la zona sur se puede acceder desde Puerto Bermúdez por los ríos Pichis y Palcazú pasando por los poblados de Puerto Baldeón, San Antonio y Puerto Inca, dentro de esta vía se puede acceder también a la zona centro mediante el río Pozuso con dirección a la localidad del Codo de Pozuso, cabe resaltar que esto se puede realizar a través de botes y lanchas que alquilan los mismos pobladores de la zona. Para acortar más el tiempo de viaje la vía aérea te permite ir de Lima a Pucallpa con una duración de 1 hora lo mismo se puede hacer de Lima a Huánuco (Figura 2, 3 y 4).



Figura 2: Vía de acceso al área de trabajo por carretera.

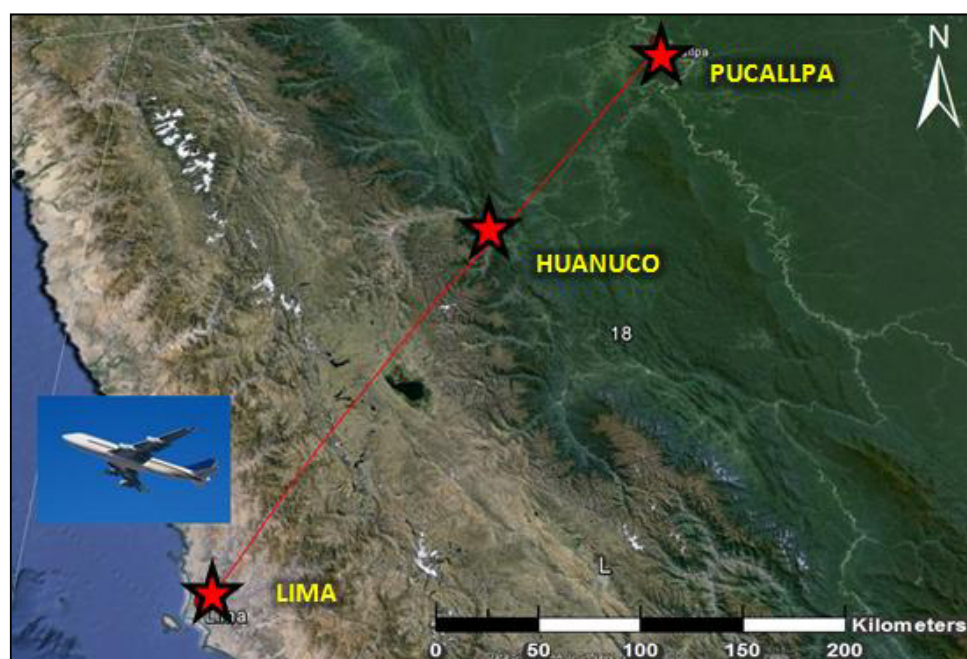


Figura 3: Vía de acceso al área de trabajo por vía aérea.

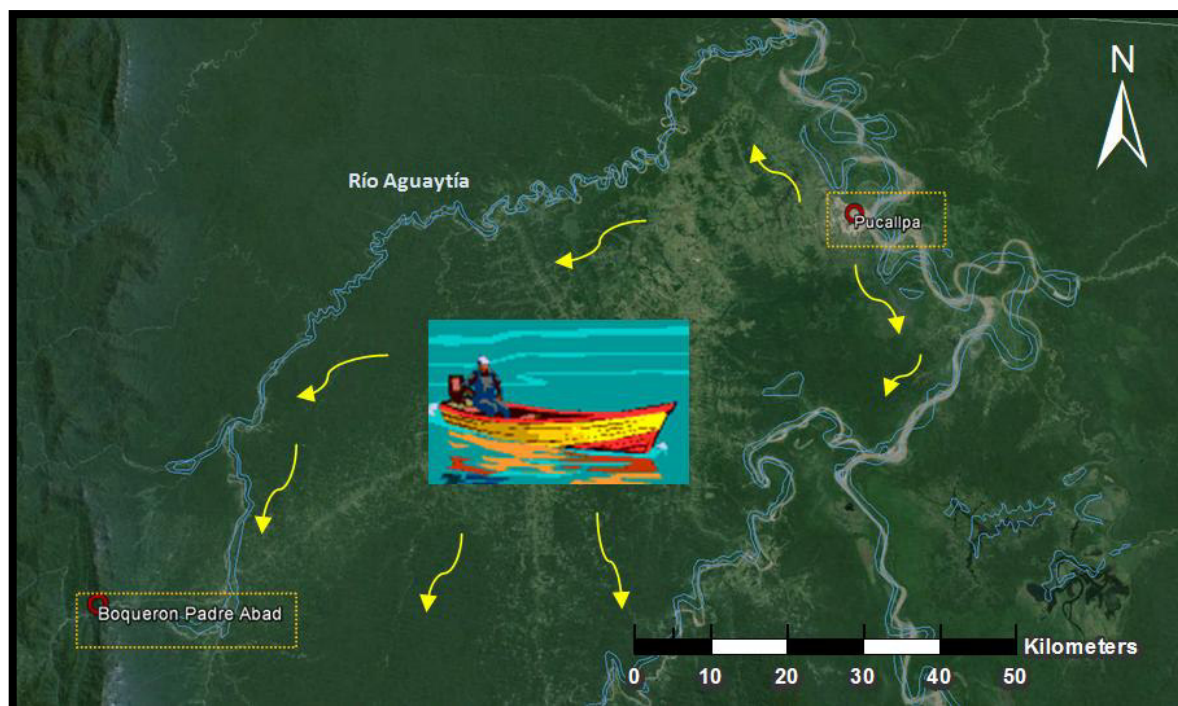


Figura 4: Vía de acceso al área de trabajo por el medio fluvial.

1.4 Áreas Naturales y Comunes Protegidas

Dentro de los límites de la zona de estudio se encuentran **Áreas Naturales Protegidas (ANP)**, como el Bosque de protección de San Matías-San Carlos (BPSMSC), el Parque Nacional Yanachaga Chemillen, el Parque Nacional Tingo María y el Parque Nacional Cordillera Azul. A su vez encontramos **Reservas Comunes (RC)** como la Reserva comunal Yanesha (RCY), la Comunidad Nativa Yamino y la Reserva Comunal El Sira (Figura 5).

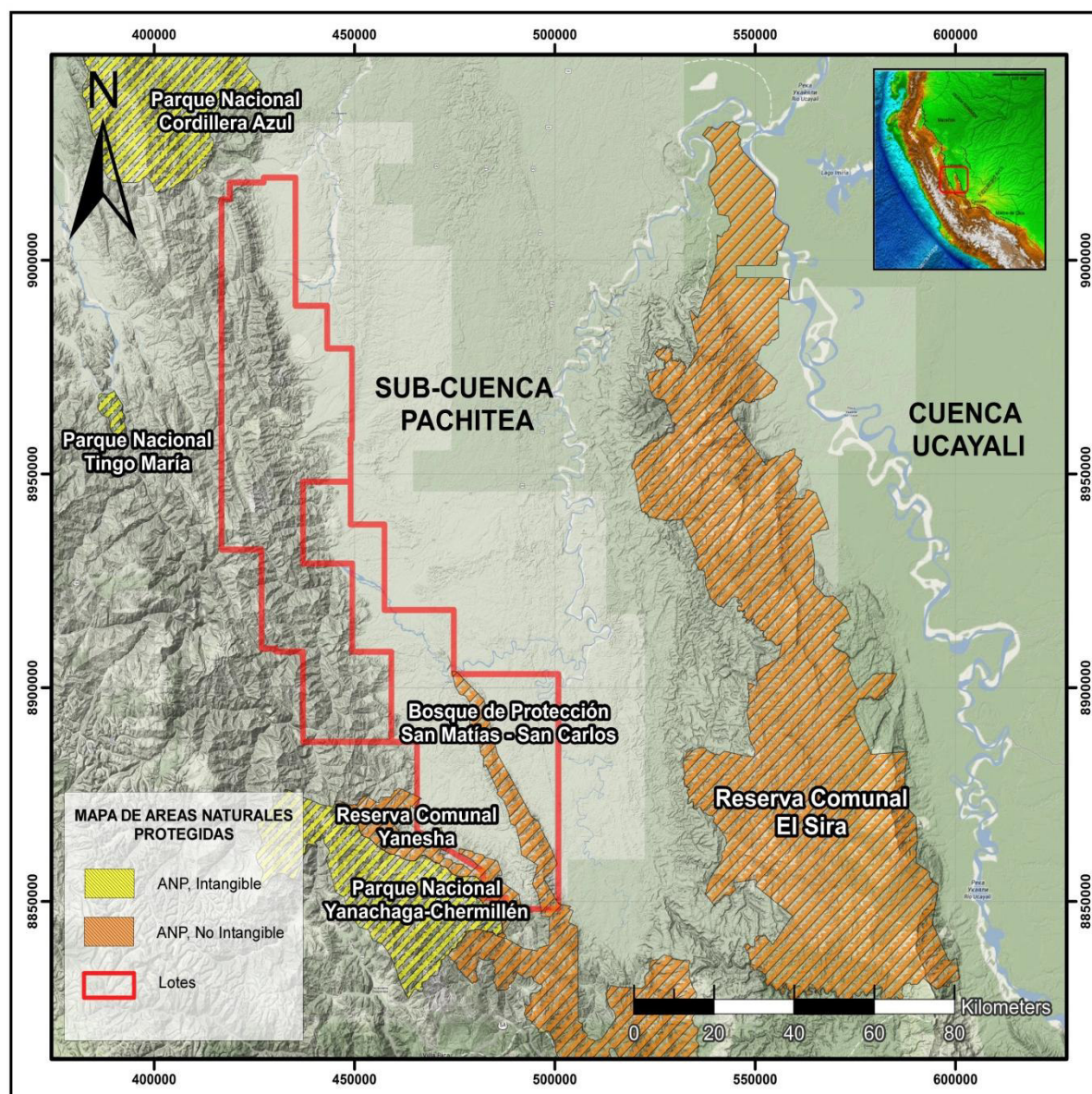


Figura 5: Mapa de áreas naturales y áreas comunales protegidas presentes.

1.5 Geomorfología

Se han determinado unidades morfo-estructurales que predominan en el área a trabajar, las cuales resultan de la interacción de factores geográficos, bióticos y geológicos produciendo relieves variables, vegetación, erosión y sedimentación.

Dentro de los elementos geomorfológicos reconocidos (Figura 6) se encuentran laderas, montañas, colinas bajas, valles encañonados dentro de la zona subandina y también planicies terrazas fluviales hacia la zona del antepaís.

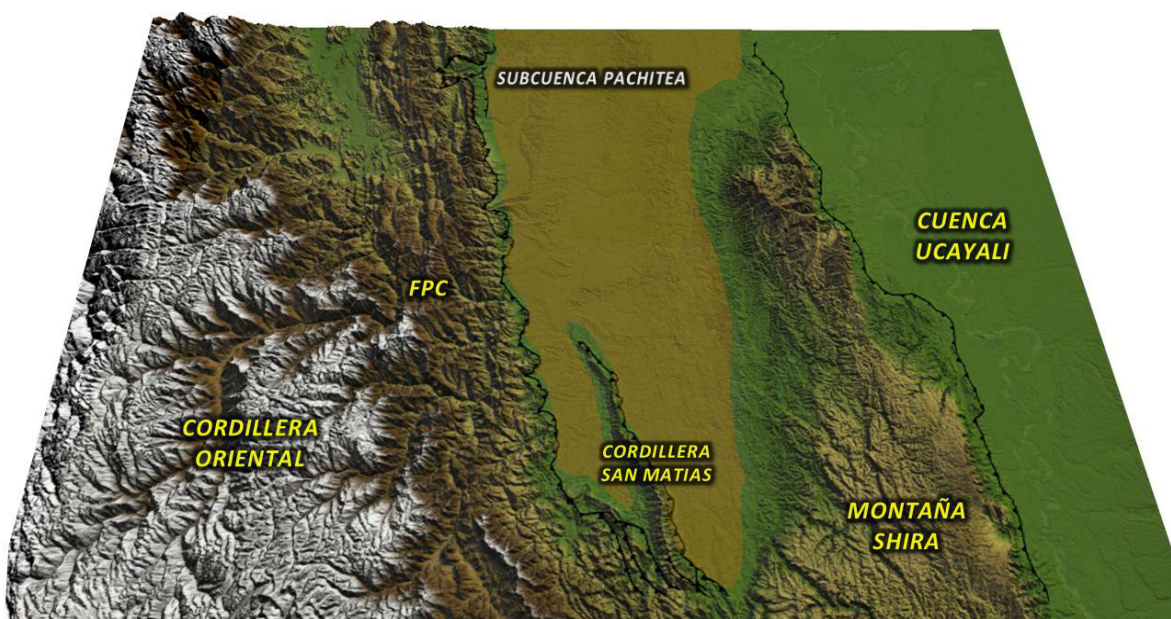


Figura 6: Vista 3D de la zona noroccidental de la cuenca Ucayali y delimitación de la Sub-cuenca Pachitea con las morfoestructuras principales presentes

1.6 Planteamiento de la problemática geocientífica

La Cuenca Ucayali presenta ya más de 50 años de actividades exploratorias. Aún existen áreas inexploradas a pesar de conocer el gran potencial que puede proporcionar el subandino peruano.

El registro de la información que se tiene representa campañas de geología de campo realizadas por diferentes compañías e instituciones, 10000 kilómetros de sísmica 2D y 50 pozos perforados a lo largo de la cuenca Ucayali.

Dentro del área a trabajar se han identificado los siguientes problemas:

- la incertidumbre correlativa de unidades pre-cretácicas en la cuenca Ucayali debido a la escasa presencia de información bioestratigráfica de estas unidades;
- la falta de un modelo estructural regional basado en la construcción de secciones estructurales balanceadas;
- la falta de un modelo secuencial de la deformación del sistema de corrimientos;
- la falta de un buen estudio de "timing" de generación, migración y entrapamiento de hidrocarburos.

1.7 Objetivos del Estudio

Los objetivos del presente convenio son:

- la generación de una base de datos GIS que contenga toda la información del área y a su vez cuente con la nueva información adquirida;
- la realización de un análisis geométrico a través de la construcción de tres secciones estructurales balanceadas E-O, y una sección estructural N-S (Figura 7).
- la revisión de la estratigrafía pre-cretácica del área junto con zonas adyacentes, tomando en cuenta la litología y bioestratigrafía;
- la propuesta de uno o más sistemas petroleros a partir del análisis de elementos presentes.

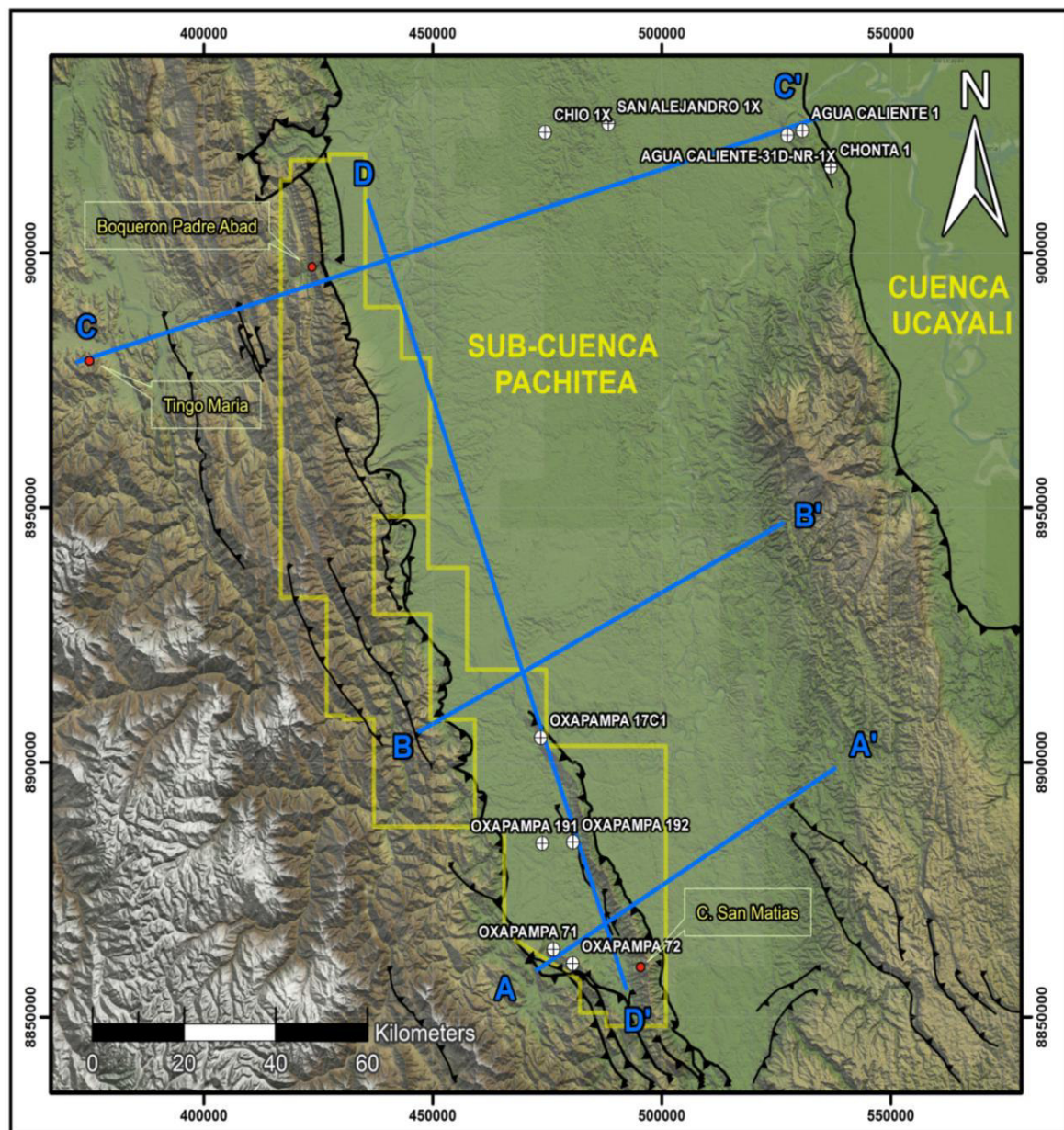


Figura 7: Ubicación de las 4 secciones estructurales programadas.

1.8 Metodología del Trabajo

1.8.1 Adquisición e integración de información de superficie (Figura 9)

Esta información tiene dos componentes. El primero comprende la campaña de campo realizada en la carretera Tingo María - Aguaytia por el grupo de IRD-PERUPETRO en el 2013, del cual se tomó un control de datos estratigráficos y estructurales. El segundo tipo de datos comprende la compilación de información de superficie levantadas por las campañas de Occidental (2002), PanEnergy (1998-1999), Ingemmet (1997), Petrolífera (2007-2010) e IRD (1996 y 2006). Toda esta información fue albergada en un proyecto GIS dentro de nuestra base de datos (Figura 9 y anexos)

1.8.2 Integración de secciones sísmicas y pozos (Figura 10 y 11)

La información sísmica utilizada comprende las campañas de Petroperú (PGSI7476L31L35) junto con la nueva campaña de Petrolífera (PP10707), la cual fue adquirida en el año 2008-2009 (Figura 10). Para unir estas dos campañas, se tuvo que realizar un "ajustamiento" usando como nivel de referencia la discordancia regional de la base Cretácica. Posteriormente se generaron sismogramas sintéticos en los pozos Oxapampa 7-1X, Oxapampa 7-2X, Oxapampa 19-1X, San Alejandro 1-X y Chio 1-X para calibrar los reflectores.

1.8.3 Interpretación de secciones sísmicas

Como parte de la interpretación sísmica, se procedió a la calibración de reflectores a partir de los pozos San Alejandro 1-X y Chio 1-X en la parte norte, y de los pozos Oxapampa 7-1X, Oxapampa 7-2X y Oxapampa 19-1X en la parte sur (Figura 11). Se utilizaron también datos de superficie para complementar esta calibración.

1.8.4 Interpretación de imágenes satelitales y DEM

Dentro de la elaboración del mapa geológico regional del proyecto, se realizó el control de calidad de los relevamientos geológicos suscitados dentro del área. Para ello se realizó un control de los contactos entre unidades estratigráficas y datos estructurales, los cuales fueron mapeados a partir del control de campo y de imágenes del tipo Landsat, Alos Palsar, Aster GDEM 30m, junto con imágenes brindadas por el navegador de google earth y google maps.

1.8.5 Elaboración de una nueva propuesta de modelo litoestratigráfico

Basado en la interpretación sísmica, junto con las correlaciones de pozos y afloramientos se procedió a realizar una nueva propuesta estratigráfica tomando como base las evidencias encontradas en el presente trabajo.

1.8.6 Conversión de sísmica de tiempo a profundidad

Una sección sísmica no es una representación real del subsuelo, por lo que es necesario convertir los valores de tiempo (en milisegundos) a valores de profundidad (en metros). Para esto, se elabora una tabla de conversión tiempo-profundidad utilizando datos de un VSP (Vertical Seismic Profile), de un sismograma sintético o de tablas de velocidades obtenidas durante el procesamiento sísmico.

1.8.7 Construcción de secciones estructurales

Cuatro secciones estructurales han sido elaboradas con el software MOVE a lo largo de la sub-cuenca Pachitea, integrando datos de afloramientos, pozos perforados y secciones sísmicas (Figura 7).

1.8.8 Construcción de secciones balanceadas

Tres secciones balanceadas han sido elaboradas con el software MOVE, a partir de secciones transversales en la sub-cuenca Pachitea (Figura 7). La técnica de secciones balanceadas permite “modelar estructuras a partir de una sección estructural deformada (deformación finita) la cual permite restaurar la sección a un estado inicial y simular su deformación” (Gil Rodríguez, 2002).

CÁPITULO II

<u>II</u>	<u>CONTEXTO GENERAL Y ESTADO DE CONOCIMIENTO</u>	14
2.1.	MARCO GENERAL	14
2.2.	DATOS DE SUPERFICIE Y SUBSUELO	16
2.2.1.	<i>Campañas de Campo</i>	16
2.2.2.	<i>Data sísmica</i>	16
2.2.3.	<i>Datos de Pozos</i>	16
2.3.	CONTEXTO TECTÓNICO	20
2.3.1.	<i>Introducción</i>	20
2.3.2.	<i>La Tectónica Andina</i>	20
2.3.3.	<i>La cuenca de ante - pais Amazónica</i>	21
2.3.4.	<i>El papel del Cenozoico en las cuencas de ante-pais Amazónicas</i>	26
2.4.	CUADRO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL	27
2.3.	MODELO ESTRUCTURAL CUENCA UCAYALI NORTE	31

CÁPITULO II CONTEXTO GENERAL Y ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1. Marco General

La sub- cuenca Pachitea como tema de estudio, forma parte del conjunto de cuencas subandinas del Antepaís Amazónico. Estas cuencas son reagrupadas en función de sus características estructurales y/o sedimentarias, las cuales propiamente se desarrollan desde la zona de wedge-top hacia la parte este del antepaís.

Los límites de estas cuencas subandinas son generalmente elementos estructurales como: fallas, altos estructurales, lineamientos, etc. De los cuales no todos estos límites son evidentes; la mayoría de ellos están rellenados por una cubierta sedimentaria que solo es posible distinguir gracias a la sísmica que se pueda obtener de dicha zona y a datos de campo.

La disposición de estas cuencas y su desarrollo es perpendicular a la dirección del transporte tectónico. Corresponde a un sistema de fajas plegadas y corridas con vergencia "Este" que forma parte del antepaís. Las cuencas subandinas se extiende sobre el borde oriental de los Andes y corresponden a las cuencas Oriente, Marañón, Santiago, Pachitea, Ucayali, Ene y Madre de Dios-Beni. La evolución de estas cuencas es compleja. Según los trabajos de Gil 2001 y 2002, estas corresponden a diferentes tipos de estilos tectónicos, distribuyendose de norte a sur.

La parte occidental de la cuenca de antepaís de los Andes Centrales corresponden a una región muy deformada denominada zona subandina (zona de depósito *wedge-top*) donde se desarrolla la cuenca Ucayali (Hermoza et al., 2005). La cuenca Ucayali está limitada hacia el Este por el escudo precámbrico brasileño, hacia el Oeste por la Cordillera Oriental, donde afloran rocas precámbricas, paleozoicas, y mesozoicas. Los sedimentos más recientes se depositaron sólo en valles y pequeños espacios inter-montañosos. Por el Norte, está separada de la Cuenca de Marañón por el Arco de Contaya. Hacia el Sur, se divide de la Cuenca Madre de Dios por el Arco de Fitzcarrald (Espurt et al., 2007).

La cuenca Ucayali se divide en dos subcuencas, al oeste la sub-cuenca Pachitea y al este la sub-cuenca Ucayali sur (Figura 6). Esta división ha sido dada como resultado del emplazamiento del Alto del Shira. En este contexto, la sub-cuenca Pachitea como parte de una cuenca mayor, presenta límites establecidos, donde hacia el oeste limita con la Cordillera Oriental y hacia el este con el Alto del Shira. Hacia el norte la cuenca se une con la cuenca Ucayali y tiene como límite norte las montañas de Cushabatay (Arco de Contaya). Su prolongación SE viene a corresponder a la Cuenca Ene (Figura 8).

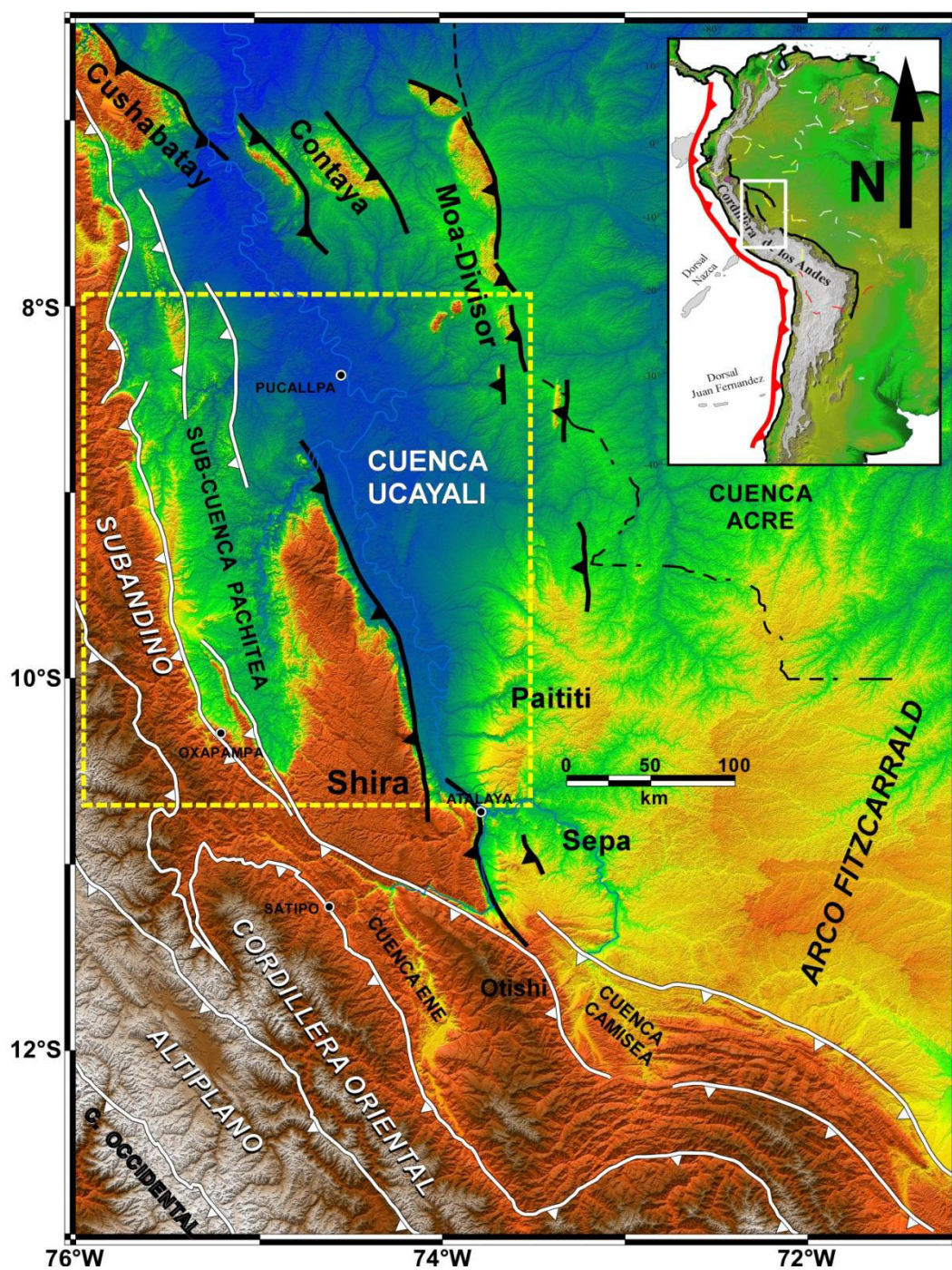


Figura 8 : Muestra la distribución de la cuenca Ucayali y sus límites, el recuadro marca el área de estudio (sub-cuenca Pachitea).

2.2. Datos de superficie y subsuelo

2.2.1. Campañas de Campo

Se recaudó toda la información mencionada anteriormente y se convirtió a un formato TAB (MapInfo software) con la intención de tener una base de datos exhaustiva (Figura 9). Esta base de datos está cargada también en el proyecto de geología estructural para el software Midland Valley MOVE .

Los datos están ubicados en quebradas, carreteras y ríos obteniendo densa cantidad de datos para los lotes 107 y 133. Esta información fue obtenida a partir de transectas de campo georeferenciadas en imágenes satelitales y mapas. El presente trabajo no solamente integró la data cruda, se verificó también su validez a partir de un análisis de imágenes satelitales y DEM (Aster GDEM 30m). Cabe resaltar que algunos datos presentaban errores en orientación.

2.2.2. Data sísmica

Las secciones sísmicas representan un valor importante en la realización y control estratigráfico y estructural. Para el presente trabajo se usó las secciones sísmicas registradas por GSI, NORPAC y CGG para Petroperu entre los años 70, 80 y 90s, las cuales abarcan un control de la zona norte de la sub-cuenca Pachitea (Figura 10).

Por otra parte siguiendo con el convenio tripartito entre IRD-PERUPETRO-PETROLIFERA pudo ser posible la utilización de la campaña sísmica PP10707 realizada el 2008-2009 por PETROLIFERA, la cual se distribuye en la zona sur de la sub-cuenca Pachitea (Figura 10).

2.2.3. Datos de Pozos

El subandino peruano presenta un gran interés en la actualidad, pero la escasa información y control de pozos forman parte de una problemática que repercute en las interpretaciones y modelos geológicos. Para el presente estudio, se adquirió toda la información de pozos dentro del área (Figura 11) y se realizó una revisión de los topes y bases de las unidades estratigráficas a partir de registros, tomando en cuenta análisis biostratigráficos.

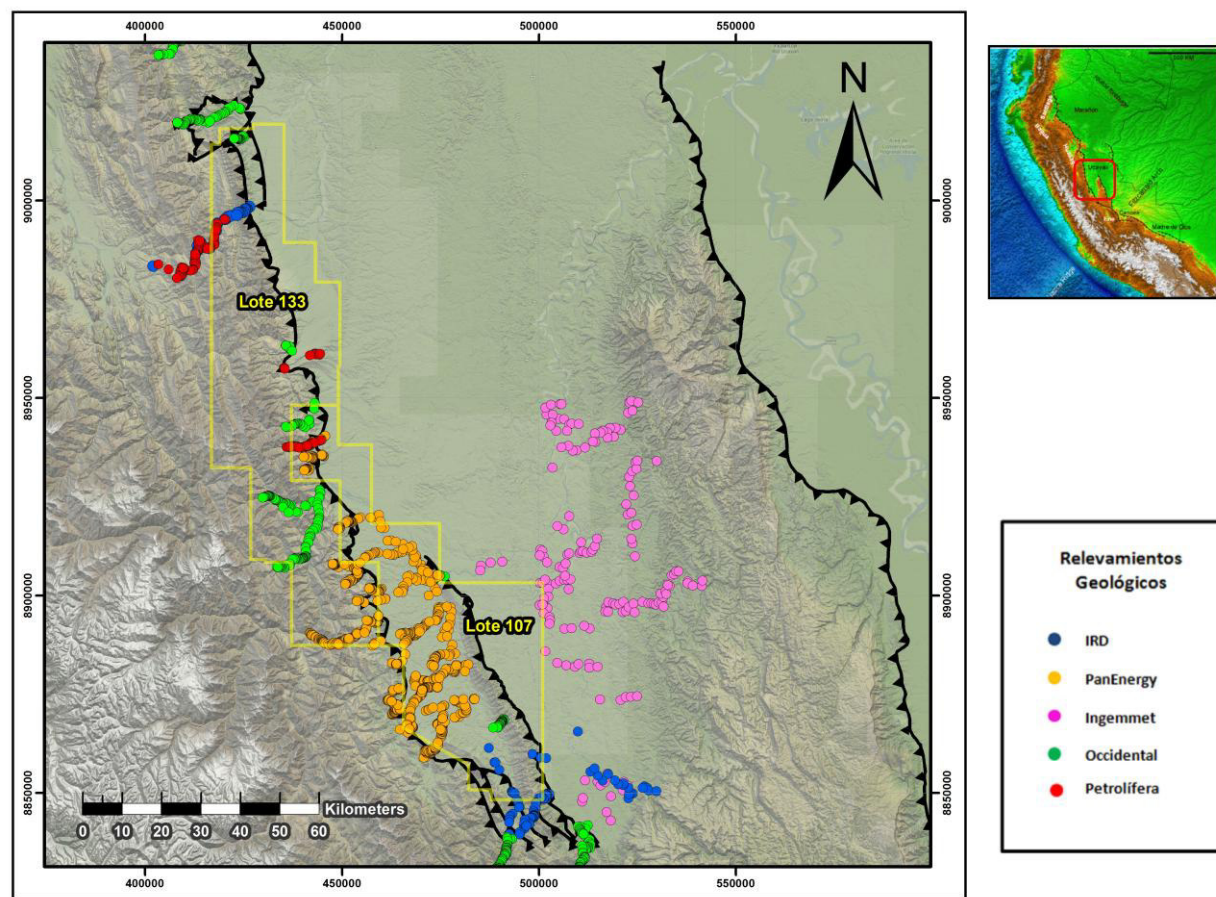


Figura 9: Ubicación de los datos estructurales levantados antes del proyecto, así como los nuevos datos adquiridos en 2013-2014.

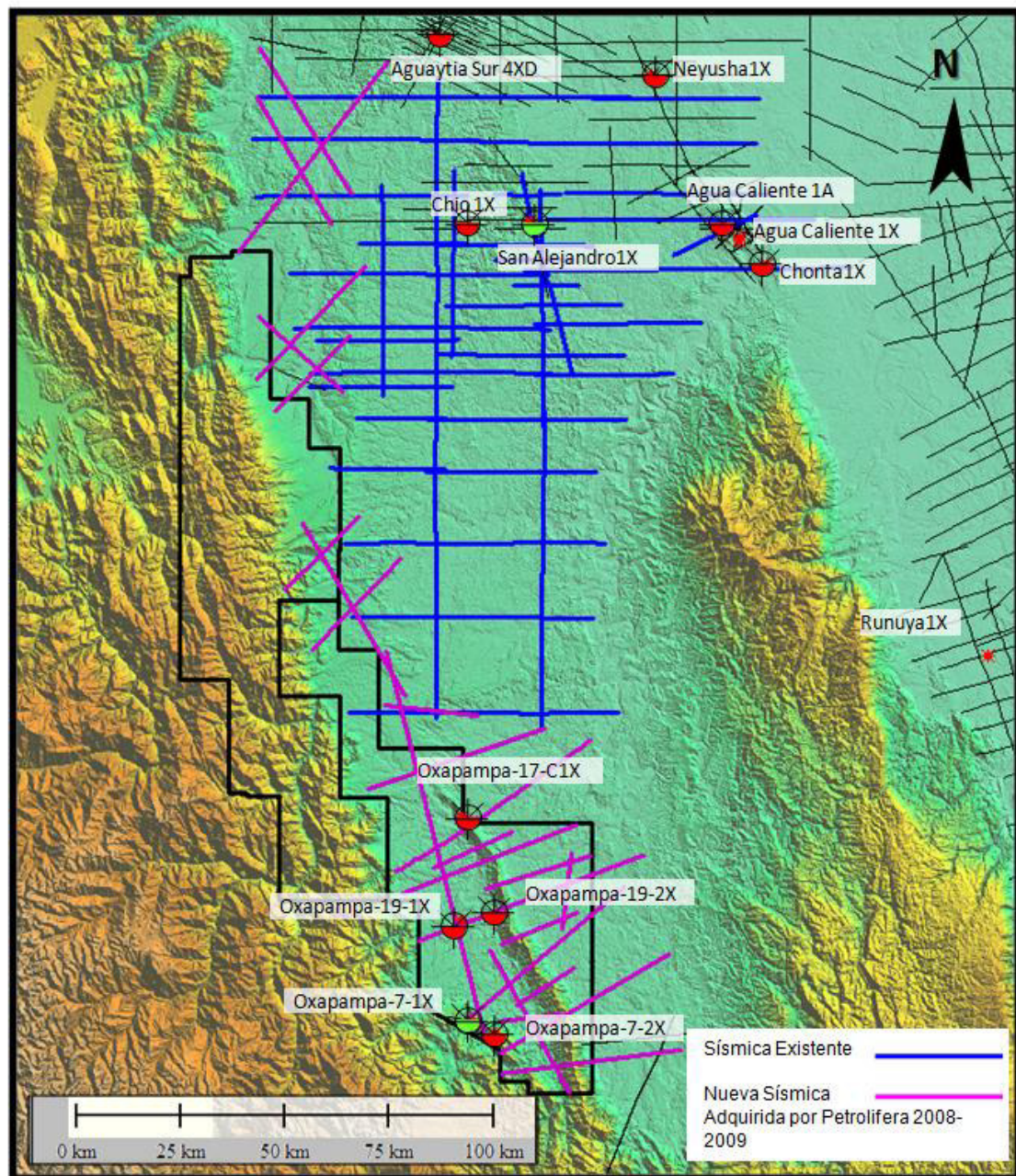


Figura 10: Ubicación de las campañas sísmicas y pozos presentes en el área de estudio

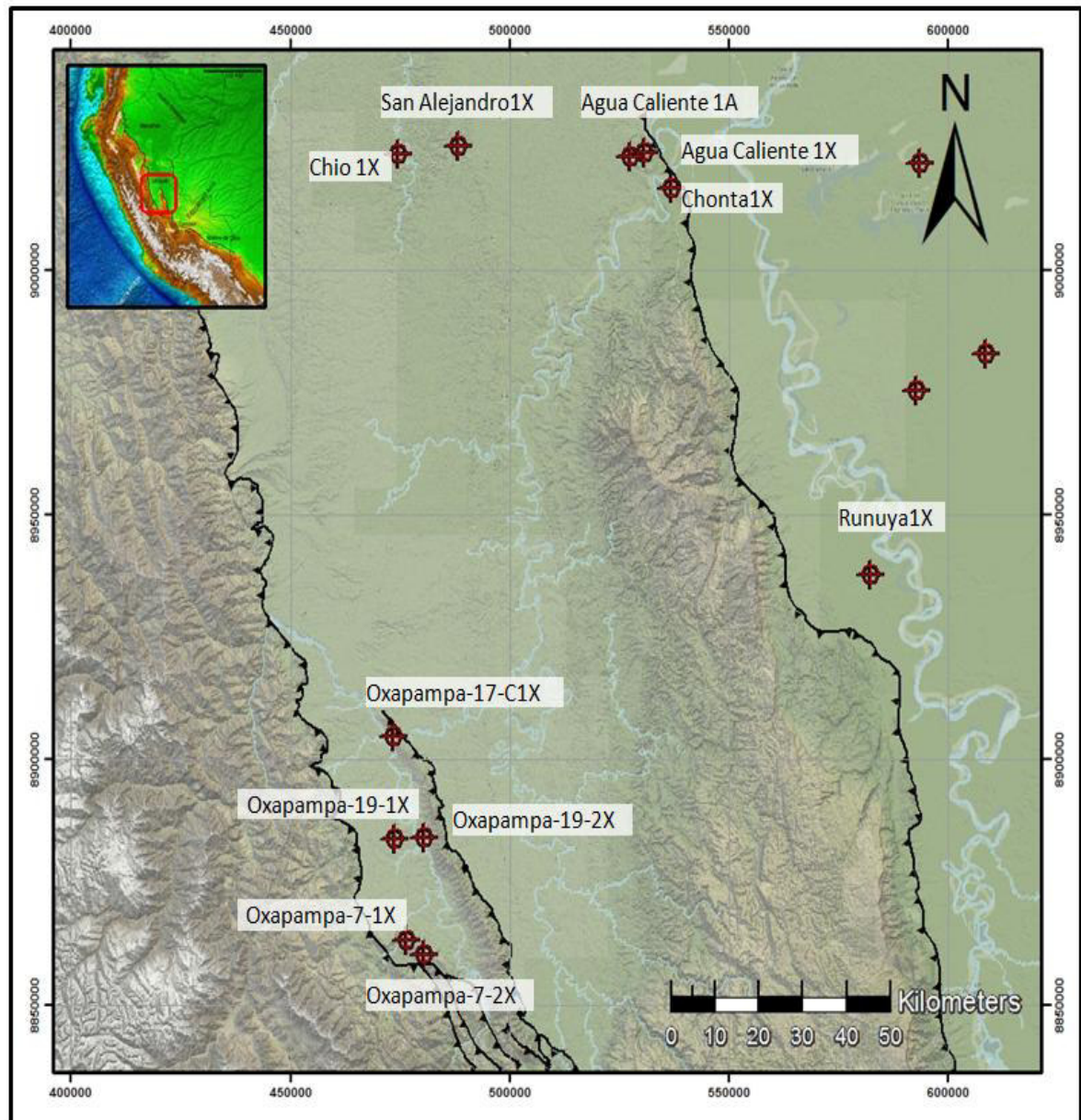


Figura 11: Ubicación de pozos presentes en el área de estudio

2.3. Contexto Tectónico

2.3.1 Introducción

La cuenca de Antepaís Amazónica es el resultado de diferentes eventos tectónicos relacionados entre sí, los cuales han sido estudiados por diferentes investigadores. Trabajos realizados por Dalmayrac et al. (1988), Gil (2001-2002), Hermoza (2004), Espurt (2007) y el grupo del convenio IRD-PERUPETRO sobre la evolución geológica de los Andes representaran nuestra base para dar un panorama general en el entendimiento de las estructuras que tenemos en la actualidad y en especial nuestra cuenca de estudio. Los conceptos generales de cuencas subandinas, su segmentación y zonas de aporte mostraran las relaciones ente los eventos tectónicos y la disposición de estas cuencas a lo largo del frente de corrimiento subandino. Este capítulo tiene como fin dar un marco tectónico y sedimentario referencial a partir de los avances e investigaciones realizados por diversos autores.

2.3.2 La Tectónica Andina

La tectónica andina ha despertado gran interés en los últimos años. Trabajos de Audebaud et al. (1973) y Mégard (1973) denominan a esta como “Ciclo Andino”, siendo esta una serie de eventos tectónicos que se inicia probablemente mucho antes del Cretácico superior y continuo hasta la actualidad. La cadena de los Andes es el resultado de estos eventos sucesivos, que han determinado la subdivisión de la cadena en zonas paralelas al transporte tectónicos (Dalmayrac et al., 1988). La tectónica andina compresiva propiamente dicha comienza en el Cretácico superior en las cuencas subandinas, pero se inició en la margen continental a partir del inicio de la subducción posiblemente desde el Jurásico inferior (Dalmayrac et al 1988, Gil 2002).

Esta tectónica andina se establece en respuesta a los cambios de la velocidad y la dirección de las placas subductadas bajo la placa Sudamericana. Autores como Charrier (1973) y Pardo Casas y Molnar (1987) demuestran que los periodos de máxima velocidad de convergencia entre la placa oceánica (Farallón o Nazca)- de acuerdo al tiempo que se analice- y la placa de América del Sur, coinciden con los grandes eventos compresivos. Estos eventos están separados por breves episodios de relativa quietud tectónica (Noblet et al., 1996). De una manera o de otra, esta tectónica en compresión se desarrolla en forma continua desde el Albiano Cenomaniano hasta el cuaternario (Gil, 2002; W. Hermoza, 2004. Parte de este trabajo permite reconocer también eventos tectónicos compresivos que anteceden a esta tectónica andina desarrollando interesantes estructuras como posibles futuros prospectos.

2.3.3 La Cuenca De Ante-Pais Amazónica

Dentro de las cuencas estudiadas, en nuestro territorio, las cuencas de antepaís son las que han marcado un gran capítulo en la exploración por hidrocarburo. Este tipo de cuencas donde se concentra el mayor potencial energético es relativamente complejo, su estudio presupone diversos conocimientos. El entendimiento de este tipo de sistemas permitirá la correcta interpretación de los procesos actuantes.

“El término de antepaís es utilizado para describir las cuencas perisuturales subsidentes que se desarrollan sobre una litosfera continental” (Dickinson, 1974 en Gil, 2001). Esta se desarrolla entre el frente de una cadena y un cratón estable, donde es sometida a una flexión de la litosfera.

Cristallini (1998) define a una cuenca de antepaís como una acumulación de sedimentos provenientes de un orógeno y depositados sobre una región adyacente relativamente poco deformada por la tectónica (antepaís). Estas cuencas sedimentarias se forman en escalas de tiempo de entre millones y cientos de millones de años debido al peso del orógeno sobre la litosfera. La región del antepaís se hunde isostáticamente y genera el espacio necesario para atrapar los sedimentos aportados principalmente por ríos desde el orógeno.

Una de las características de estas cuencas es que se forman paralelamente a las fronteras de las placas convergentes. Ellas pueden desarrollarse sobre una litosfera continental en subducción y/o sobre una litosfera en “back arc” cabalgada por el frente orogénico antitético a la subducción (Figura 12).

Desde el punto de vista de la deformación, el acortamiento de la cadena se amortigua hacia la cuenca de antepaís bajo la forma de duplex, anticlinales de rampa, pliegues de propagación de falla y/o zonas triangulares. En consecuencia, las cuencas de antepaís se deforman progresivamente y emigran delante del frente de deformación. (Gil, 2002)

La geometría y el tipo de relleno de una cuenca de antepaís van a depender de muchos factores como la velocidad e intensidades de cabalgamiento de la faja plegada y corrida (FPC), factores climáticos, nivel del mar, rigidez de la litosfera involucrada, etc.

A nivel regional, la cuenca de antepaís amazónica en el Perú se distribuye de norte a sur, entre los 0° N y 16° S, y está íntimamente ligada a la cordillera de los Andes, que está en subducción y que se extiende sobre más de 9000km sobre el borde oeste del continente sudamericano. La Sub- cuenca Pachitea es parte de este gran sistema de cuenca de antepaís, que a su vez se integra a la cuenca Ucayali.

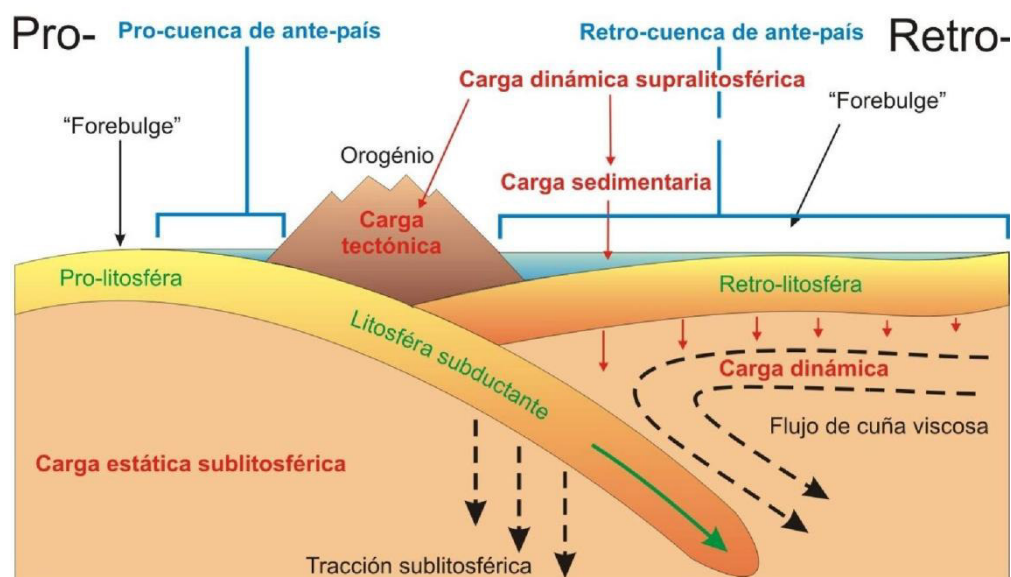


Figura 12: Sistema de cuenca de antepaís, ubicación de estas cuencas en una zona de convergencia (según Catuneanu et al. 1977, en Christophoul, 1999)

Segmentación del antepaís (generalidades).

Debido a que estas cuencas son sometidas a cargas y en consecuencia de esta una flexión de la litosfera, tanto supra y sub-litosférica, numerosos autores han estudiado este fenómeno, dentro de los cuales Beaumont (1981), Fleming (1991), Sinclair et al.(1991), etc. plantean necesario simplificar las diferentes entidades geométricas debido a su complejidad. Por lo que se convino llamarlos “sistema de antepaís”. (DeCelles & Giles, 1996; en Gil, 2001).

Dentro de un antepaís, estos autores diferencian cuatro zonas de depósitos: Wedge – top, Foredeep, Forebulge y back bulge (Figura 13). Esta división resulta de la respuesta a la sobrecarga desarrollada en el prisma orogénico. La magnitud de la flexión es proporcional a la masa de esta sobrecarga y a su repartición. A continuación, hablaremos brevemente de estos conceptos, ya que estos se encuentran con mayor detalle en la tesis doctoral de Gil (2002).

La zona de depósito wedge-top.

Esta zona viene a ser la parte activa del sistema de antepaís, donde se desarrollan estructuras y corrimientos ciegos (sistemas CAS, zonas triangulares, *passive roof duplex*), así como cuencas transportadas (*piggyback basin*). Sin lugar a dudas este depósito que fue por largo tiempo considerada como parte de la cadena montañosa, ahora permite registrar la evolución cinemática del prisma orogénico.

Desde el punto de vista sedimentario existen dos tipos de ambiente en esta zona de depósito: los continentales y marinos. En ambiente continental, los depósitos son más gruesos (conos aluviales, sistemas fluviales entrelazados). En ambiente marino, son caracterizados por sedimentos finos carbonatados (sedimentación normal) entrecortados de depósitos gravitatorios o turbidíticos (sedimentación catastrófica). Finalmente, este tipo de depósitos presenta abundantes discordancias progresivas dentro de su arquitectura la cual pone en evidencia su proximidad con el frente orogénico.

Zona de depósito foredeep.

Esta corresponde a una cuenca subsidente situada entre el frente orogénico y el *forebulge* o bombeo periférico (*forebulge*) y forma un prisma sedimentario que se adelgaza hacia el cratón. Es esta zona la que recibe la mayor acumulación de sedimentos provenientes esencialmente de la erosión de la cadena en estructuración. Además, es aquí donde se desarrollan los ambientes fluviales y aluviales en medio subaéreo y que se superponen de complejos fluvio-deltáicos de los conjuntos turbidíticos en ambiente marino.

Finalmente, en este tipo de depósitos se pueden encontrar discontinuidades progresivas cerca de la zona de depósito *wedge-top*, que van haciendo más escasas y desaparecen cuando se aproximan a la parte axial del *foredeep*

Zona de depósito forebulge

Esquemáticamente (*Figura 14*) se sitúa sobre el bombeo periférico (*forebulge*) en levantamiento flexural (reactivación que ocasiona la sobrecarga produce una flexura) a lo largo del cratón. En realidad, comúnmente es difícil de identificar esta zona positiva que es sometida a erosiones y que puede migrar en el tiempo. Cuando los sedimentos del *foredeep* llegan a progradar hasta la zona de *forebulge*, ellos forman series condensadas fluviales o eólicas, en medio subaéreo, y de plataformas carbonatadas locales en medios marinos.

Zona de depósito Back-bulge

Esta se desarrolla entre el *forebulge* y el cratón estable; y está caracterizada esencialmente por depósitos finos, sea en dominio continental o marino poco profundo (plataforma carbonatada). Aportes sedimentarios más gruesos pueden provenir del flanco del *forebulge* cuando éste es sometido a erosión.

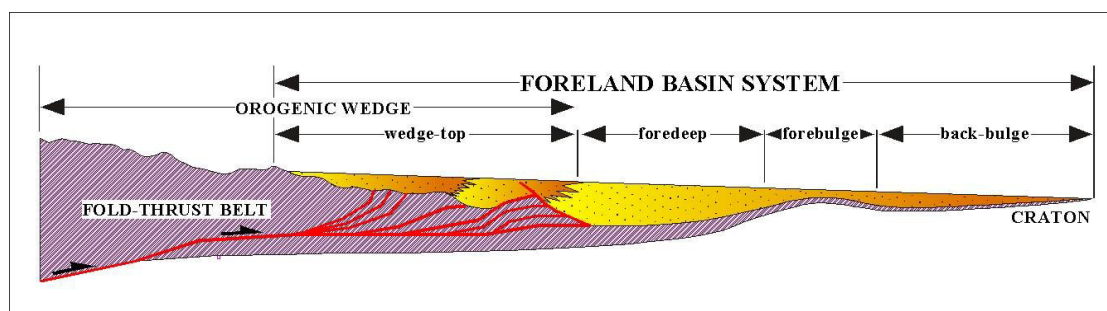


Figura 13.- Sección esquemática que muestra la organización morfo-Estructural de las zonas de depósito del sistema de antepaís (según DeCelles & Giles, 1996; modificado por Gil, 2002)

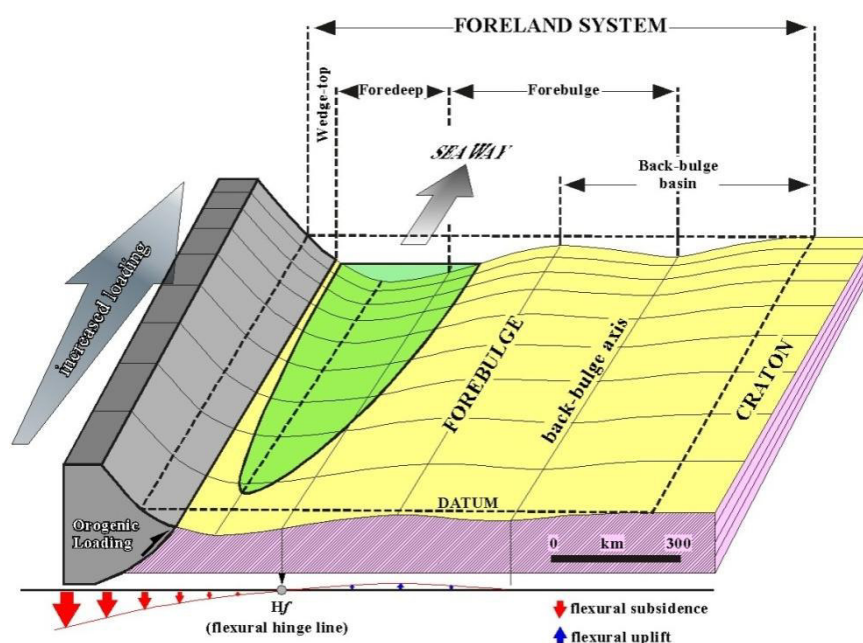


Figura 14.- Configuración del sistema de antepaís durante un periodo de sobrecarga litosférica en función de la intensidad de la sobrecarga lateral (según Catuneanu et al. 2000, en Gil, 2002)

“Esta manera de comprender las cuencas de antepais constituye el real proceso, ya que los problemas dados por estas cuencas son abordados de manera dinámica, teniendo en cuenta una migración de todos los elementos del sistema en el tiempo y en el espacio, en relación común: la cadena de montañas.” (En Gil, 2002)

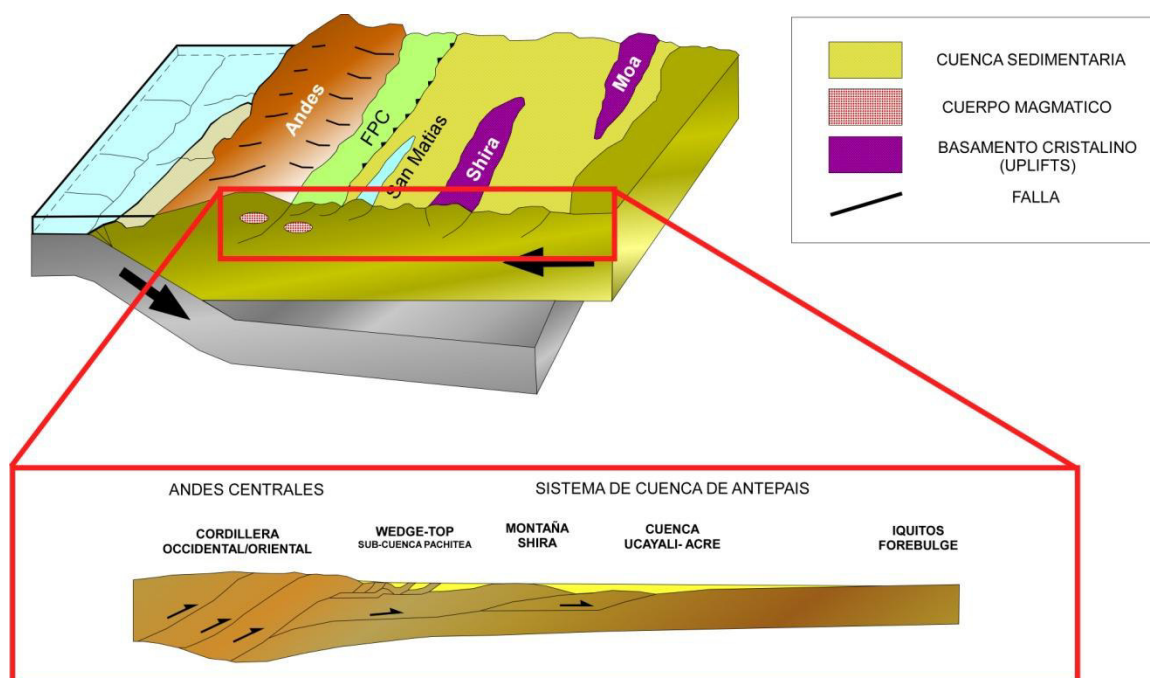


Figura 15.- Modelo de sistema de antepais (modificado de Jordan, 1995) adaptado a los Andes centrales y las cuencas de antepais Ucayali-Acre.

2.3.4 El papel del Cenozoico en las cuencas de Antepaís Amazónicas

El Cenozoico evidencia un periodo de mayor registro en la deformación subandina, trabajos de W. Hermoza (2004) permite conocer estos mecanismos, que fueron anteriormente poco estudiados y que representan en la actualidad los causantes de las estructuras que encontramos en las cuencas Subandinas

El Autor se basa en modelamientos geoquímicos, registros de pozos, información sísmica, datos de campo y el balanceo de secciones estructurales de las cuencas Sub Andinas; proponiendo un calendario de actividades tectónicas que caracterizan a este periodo, donde:

A partir del Eoceno Inferior, se presenta un periodo importante en la estructuración del sistema de cuencas de antepaís, desarrollándose en la cordillera occidental una importante surrección y erosión que se enfocan entre los 3º a 11º S, con una relativa calma al Sur. Resultando así, una fuerte variación de Norte a Sur en la configuración de los andes centrales durante este periodo.

En el Eoceno Superior-Mioceno Inferior, se caracteriza por un periodo de orogenic loading en toda la cordillera de los Andes Centrales, donde la cuenca de antepaís está controlada por la propagación del prisma orogénico, diferenciándose entre los 3º y 8º de latitud sur cuatro zonas de depósitos: El wedgetop, foredeep, forebulge y backbulge. Con altas tasas de sedimentación que rellenaron estos depósitos. Finalmente, en el Mioceno medio a la actualidad se caracteriza por una aceleración del prisma orogénico y la carga tectónica (orogenic loading) en los Andes Centrales.

Esta aceleración se traduce por la propagación de los sistemas de cabalgamientos hacia el “este” con una incursión marina generalizada en toda la cuenca de antepaís, seguido del relleno de la cuenca (paso progresivo de una cuenca alimentada a sobre alimentada). A este nivel la estructuración es compleja existiendo diferentes niveles de despegues en todo el frente deformado, propiciando así las estructuras que actualmente encontramos en las cuencas subandinas.

2.4 Cuadro estratigráfico regional

La estratigrafía fue definida por muchos trabajos anteriores. Para la compilación presentada en este informe (Figura 9, Figura 10) usamos los trabajos de Elf (1996), Ingemmet (1997), Gil (2002), Occidental (2003), PERUPETRO-Hermoza (2005), IRD-Allcca (2006) y Petrolífera (2009). La cuenca Ucayali Norte y sub-cuenca Pachitea presentan una serie sedimentaria que comprende rocas que van desde el Pre-Cámbrico hasta el Cuaternario. Estas rocas han sido reconocidas, interpretadas y documentadas en afloramientos así como en subsuelo, a través de sísmica y pozos. Para el Ordovícico, los únicos afloramientos conocidos están situados a nivel del Arco de Contaya. En el subsuelo, el Ordovícico (Fm. Contaya) ha sido perforado por el pozo Agua Caliente 1X es conformado por lutitas gris oscuro intercaladas con areniscas blancas y grises, compactas y de pobre porosidad. El Silúrico no es reconocido en subsuelo en esta parte de la cuenca. Niveles de argilitas muy carbonosas y cuarcitas grises del Devónico llamadas Formación Cabanillas sobreyace en discordancia a la Formación Contaya. Esta unidad del Devónico se aprecia en los flancos de las Montañas del Shira donde fueron reportados en el Río Nevati (flanco oeste de las Montañas del Shira) por Montoya & Berrospi (1990), y en el pozo Agua Caliente 1X (Parsep, 2002).

La serie sedimentaria del Carbonífero comprende a los grupos Ambo (Mississipiano) y Tarma (Pensilvaniano). A nivel de la subcuenca Pachitea, en el río Nevati (flanco occidental del Shira), se describen intercalaciones de argilitas negras a grises con areniscas y silts carbonosos de edad tournaiano que corresponden al Grupo Ambo (Montoya & Berrospi, 1990). Sobreyaciendo a estas capas, se encuentra 178m de areniscas verdes de grano fino a medio, cuya matriz de argilitas es rica en cloritas, y que corresponden al Grupo Tarma (Petrolífera, 2009).

El Pérmico corresponde a las series sedimentarias del Copacabana que afloran en los contrafuertes del Shira (Boletín 88 - Ingemmet, 1997). En el Río Nevati (flanco occidental del Shira), el Grupo Copacabana comprende de calizas en la base seguidas de lutitas grises a negras y calizas micriticas, y finaliza con calizas grises micriticas (Montoya y Berrospi, 1990).

En el Lote 107, en la Cordillera San Matías, Allcca (2007) interpreta a las rocas pre-cretácicas aflorando como unidades permo-triasicas, las cuales documenta en su tesis como Grupo Mitu y Grupo Ene. Estas unidades antiguamente fueron reconocidas por Ingemmet (1997) y PanEnergy (1998-1999) como parte de la Formación Sarayaquillo. Posteriormente, Petrolífera (2009) a partir de levantamientos geológicos a lo largo de la Cordillera de San Matías diferencia tentativamente las formaciones Noi, Shinai y Lower Nia (equivalente a la estratigrafía de Camisea), junto con el Grupo Mitu. Toda esta serie se encuentra bajo la superficie de erosión de la base de la serie cretácica.

Dentro del Mesozoico, la serie triásico-jurásica está conformada por la Formación Sarayaquillo y el Grupo Pucará, reportados en afloramientos por PanEnergy (1998-1999) y Occidental (2002-2003) a nivel de la Cordillera Oriental y de la Zona Subandina. El Cretácico es representado por las formaciones Cushabatay, Raya, Agua Caliente, Chonta, Vivian y Cachiyacu. Estas secuencias han sido registradas por la mayoría de pozos exploratorios en la cuenca Ucayali y Pachitea. En los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 19-1, Oxapampa 17C-1, Chio 1-X, San Alejandro 1-X y Agua Caliente 31-D, se preserva esta secuencia cretácica (Parsep, 2002). Hacia el este, la secuencia cretácica aflora en el flanco occidental del San Matías. En la sismica, sigue hasta los contrafuertes occidentales del Shira.

En la cuenca Ucayali, el Paleógeno se encuentra constituido por la Formación Huchpayacu, la Formación Casa Blanca y la Formación Yahuarango (Lower Red Beds). Los trabajos de campo muestran que, en áreas donde no se registra la Formación Casa Blanca, es muy difícil diferenciar los sedimentos rojos cretáceos de las secuencias paleógenas. Hacia el Eoceno, los sedimentos corresponden a secuencias controladas directamente por la migración del frente orogénico y la geometría de la cuenca de antepaís. El Eoceno-Neógeno está constituido por las formaciones Pozo, Chambira, Ipururo y Ucayali, y puede sobrepasar los 3000 m de espesor.

Como parte del control estratigráfico a nivel de cuenca, se realizó visitas de campo a los principales afloramientos ubicados en el Boquerón del Padre Abad y la Cordillera de San Matías junto con la elaboración de correlaciones de pozos y afloramientos a lo largo de la cuenca Ucayali que serán presentadas más adelante. Estas correlaciones permiten entender la distribución de unidades pre-cretácicas y su relación entre la zona norte y sur de la cuenca Ucayali.

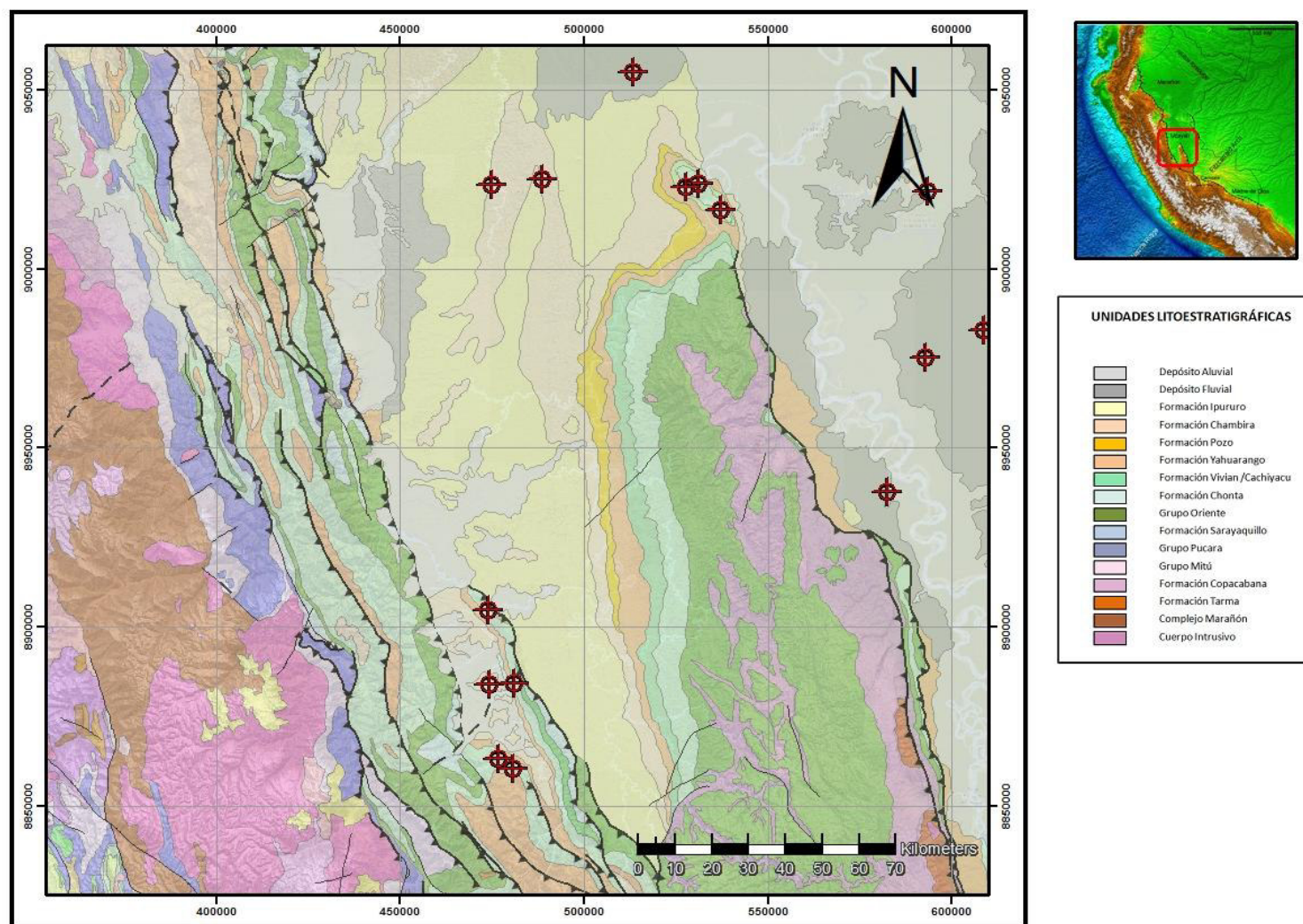
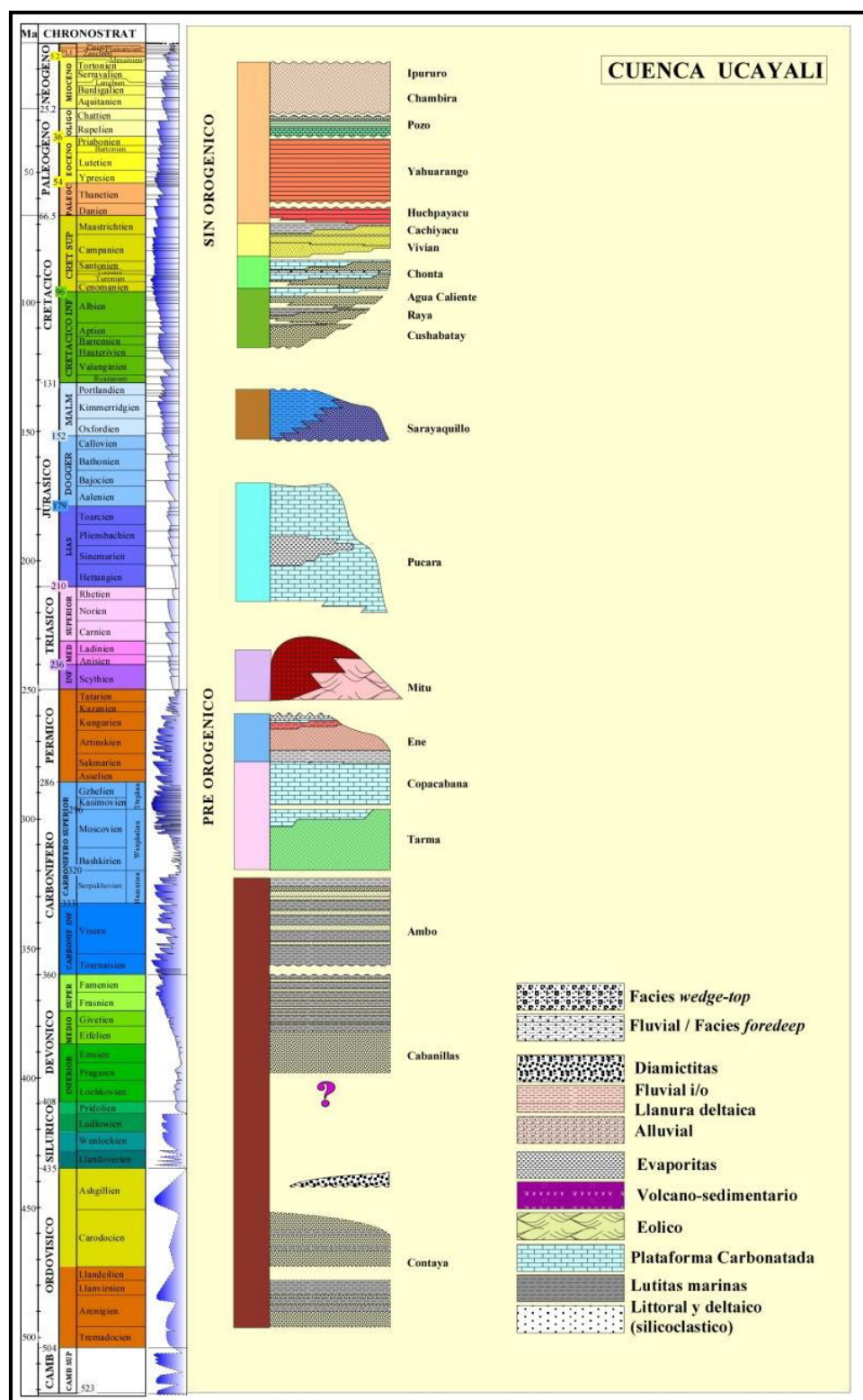


Figura 16: Mapa Geológico del área de trabajo elaborado por INGEMMET.



2.5 Modelo estructural cuenca Ucayali Norte

Los rasgos morfológicos más importantes que limiten la cuenca Ucayali Norte corresponden a los Cerros Cushabatay y el Arco de Contaya (Figura 18). Estos altos estructurales separan a la cuenca Ucayali con la cuenca Marañón, y son interpretados como la inversión de antiguas fallas normales permo-triásicas y paleozoicas que se inician durante el Cretácico Superior (Hermoza, PERUPETRO 2005). Hacia la zona central, se desarrollan las Montañas de Shira de orientación estructural N-S. Se extienden hacia el Sur hasta la Cordillera de Vilcabamba y al Norte hasta la confluencia de los ríos Ucayali y Pachitea. En las Montañas del Shira, afloran sedimentos paleozoicos y cretácicos. La estructuración del Shira se inicia a partir del Paleozoico Superior (Gil, 2002; Espurt et al., 2008).

Al Oeste, la faja plegada y corrida del Subandino (FPCS) corresponde a la prolongación del “trend” estructural de la Cuenca Huallaga (Hermoza, PERUPETRO 2005).

La Cordillera Oriental es otro rasgo presente caracterizado por ser una cadena montañosa generada por la tectónica andina. Parte de su litología la conforman unidades que van de edades pre-cambrianas a jurásicas (Newell, 1953). Los estudios realizados por Sempere (2004) y Rosas (2007) determinan que el estilo estructural está ligado principalmente a la inversión de bloques de rift, producto de la tectónica andina.

Las figuras 20, 21, 22, 23, 24,25 y 26 muestran el estado de conocimiento estructural del área a partir de secciones realizadas por Gil (2001), Occidental (2003), Hermoza-PERUPETRO (2005) y Miguel Allca (2007).

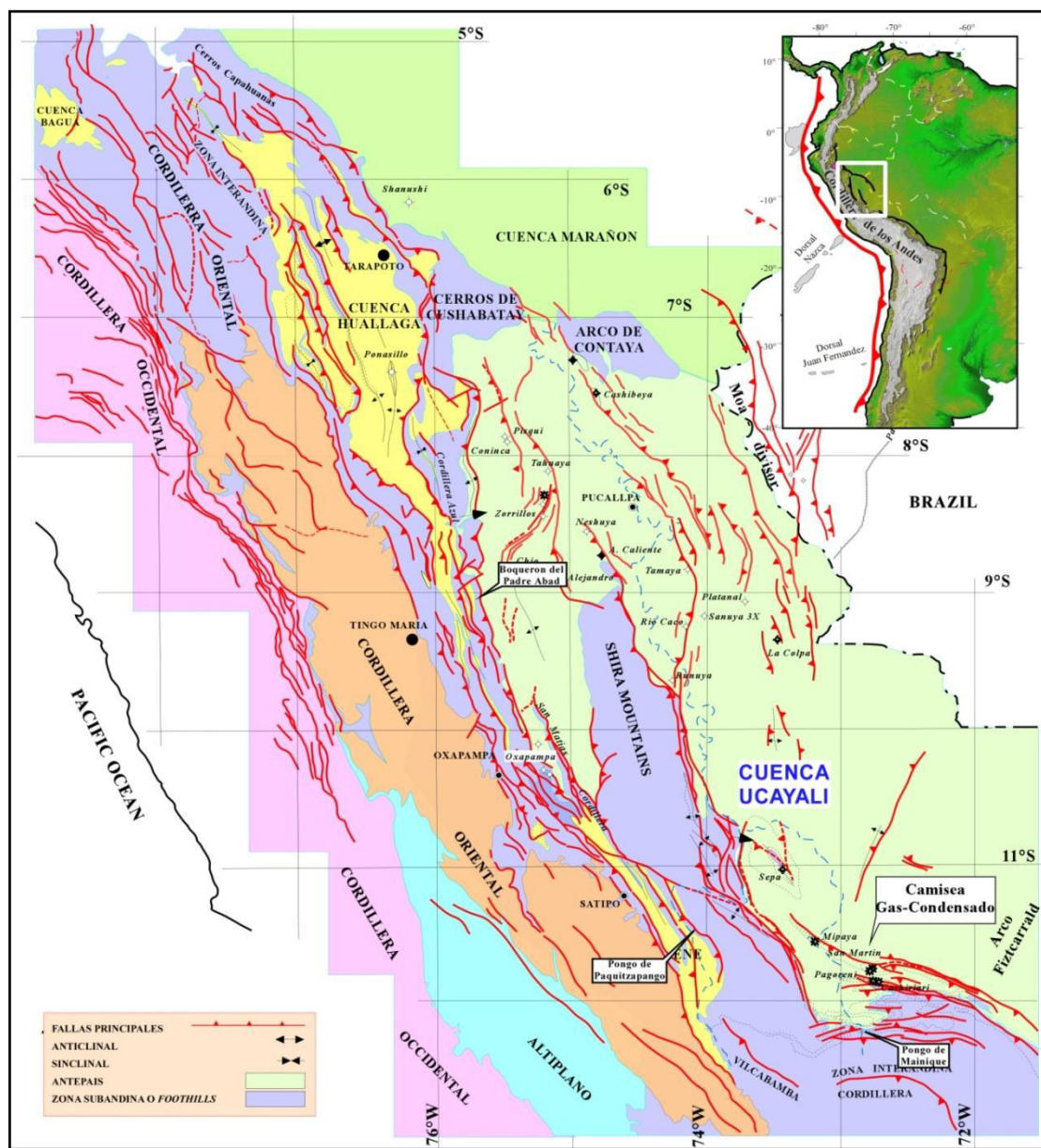


Figura 18 1: Mapa estructural de la Cuenca Ucayali, donde las líneas rojas representan las principales fallas (Gil, 2001)

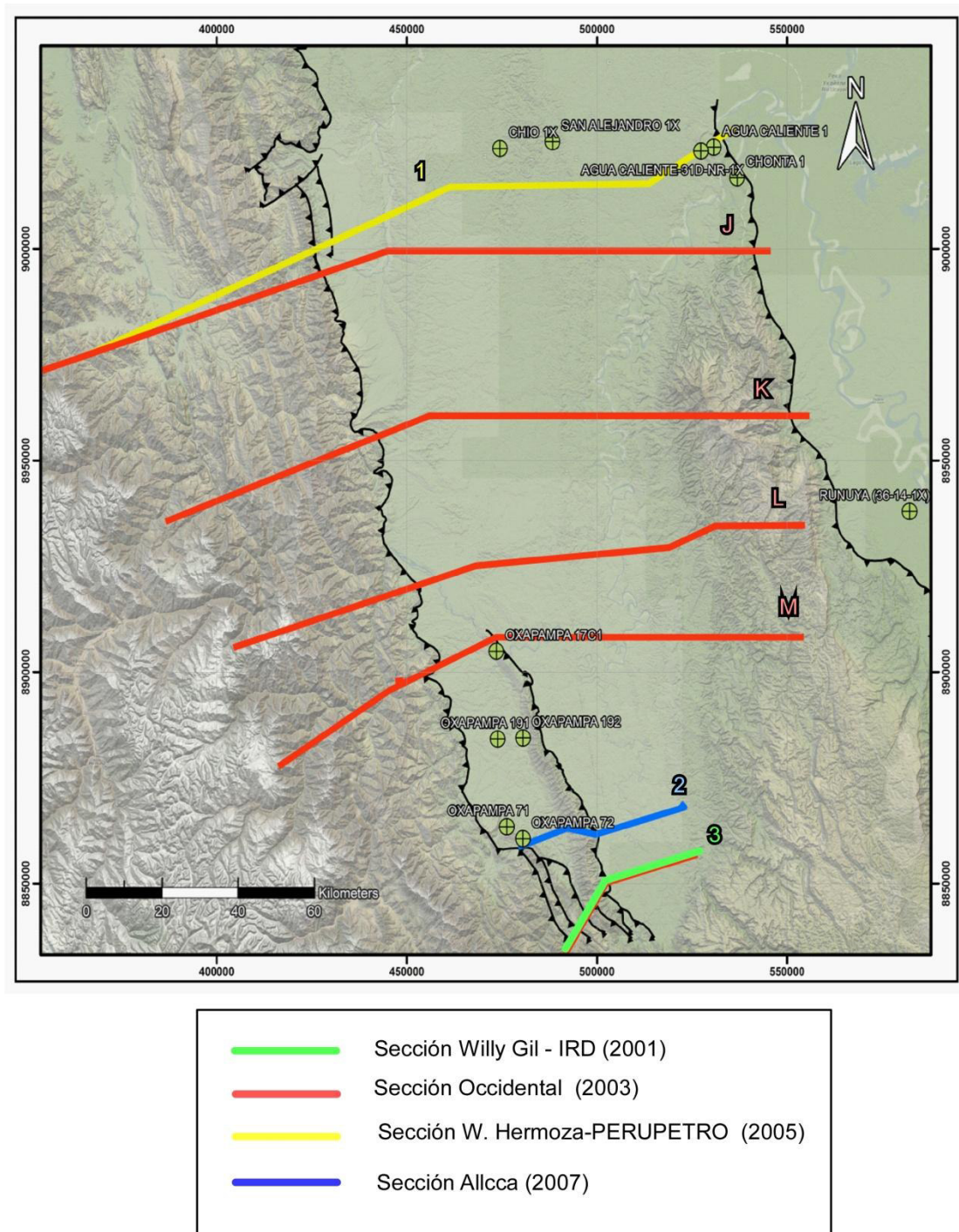


Figura 19: Ubicación de las secciones estructurales realizadas anteriormente a lo largo del área de estudio

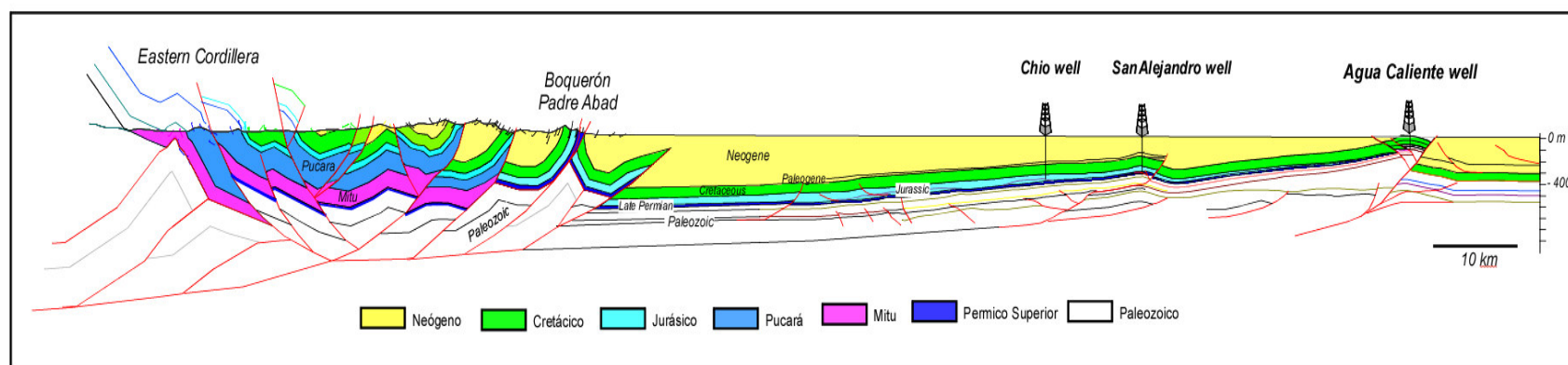


Figura 20: Sección "1 " ; Wilber Hermoza, IRD-Perupetro (2005), ubicación en Figura 19

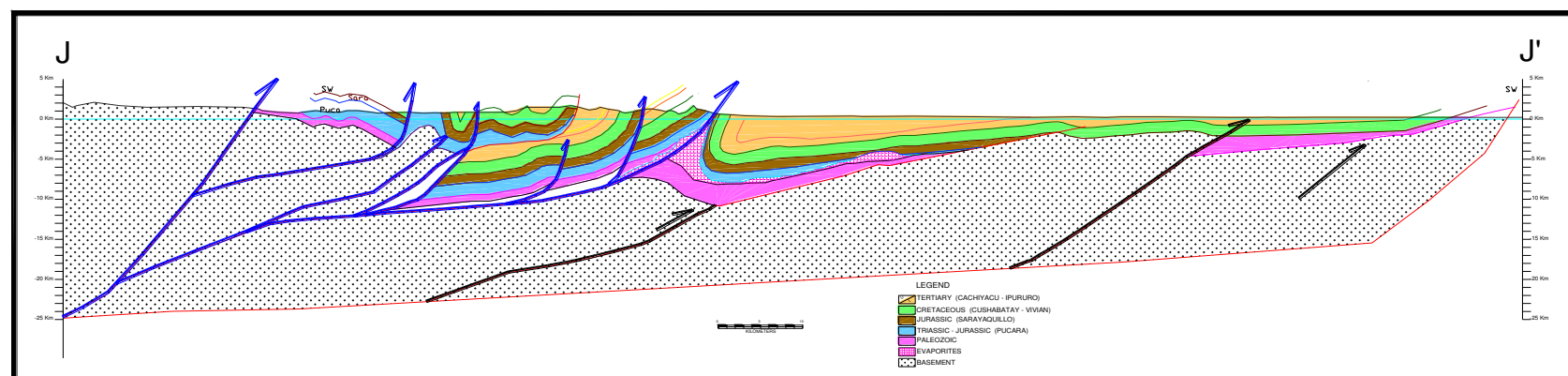


Figura 21: Sección "J"; Occidental (2003), ubicación en Figura 19

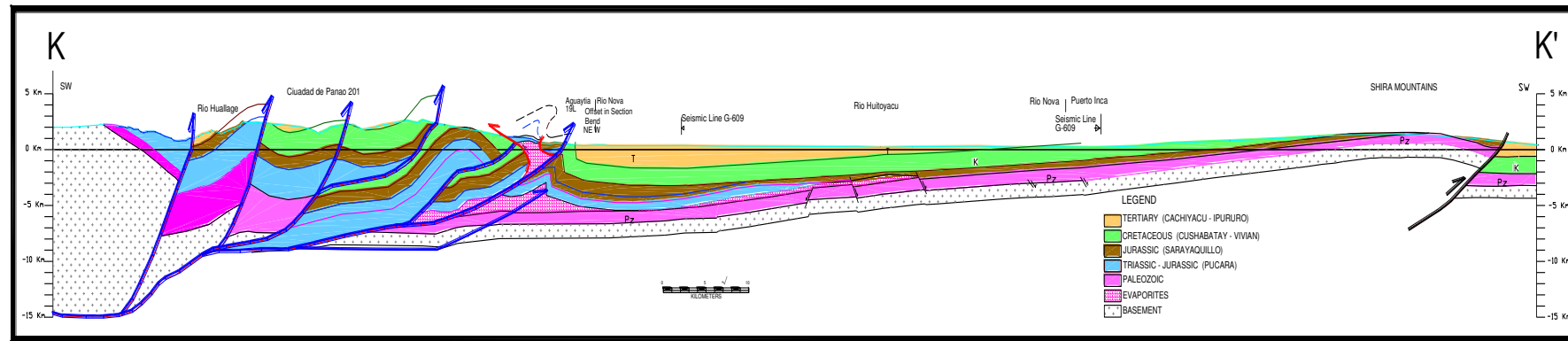


Figura 22: Sección "K"; Occidental (2003), ubicación en Figura 19

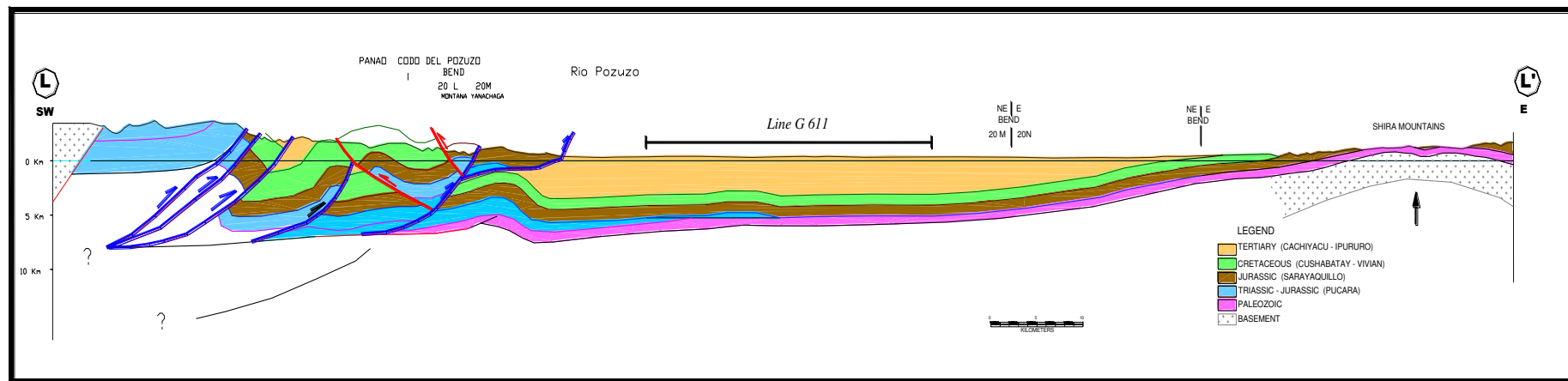


Figura 23: Sección "L"; Occidental (2003), ubicación en Figura 19

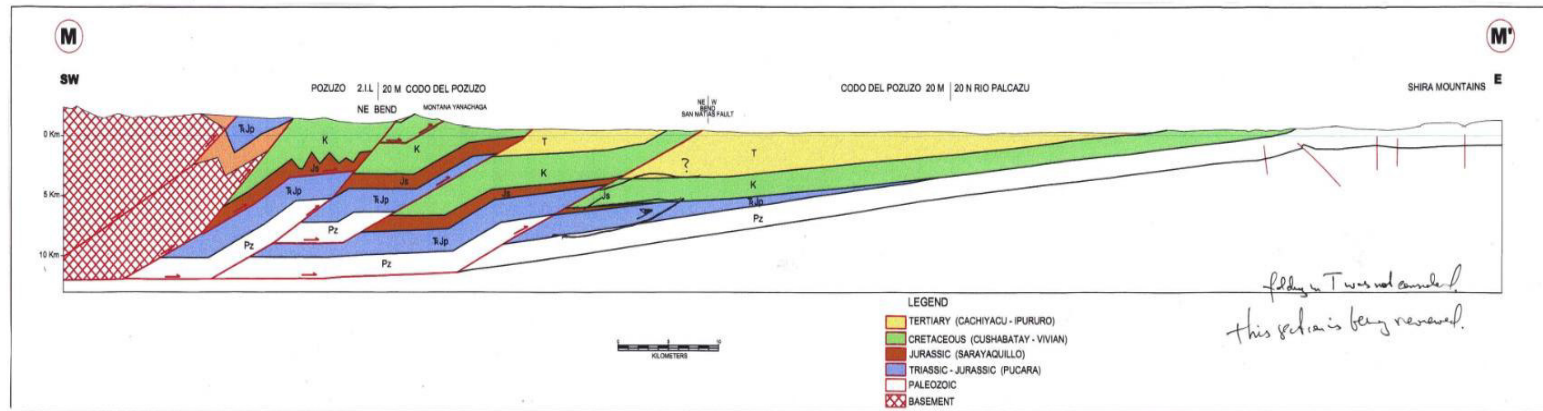


Figura 24: Sección "M"; Occidental (2003), ubicación en Figura 19

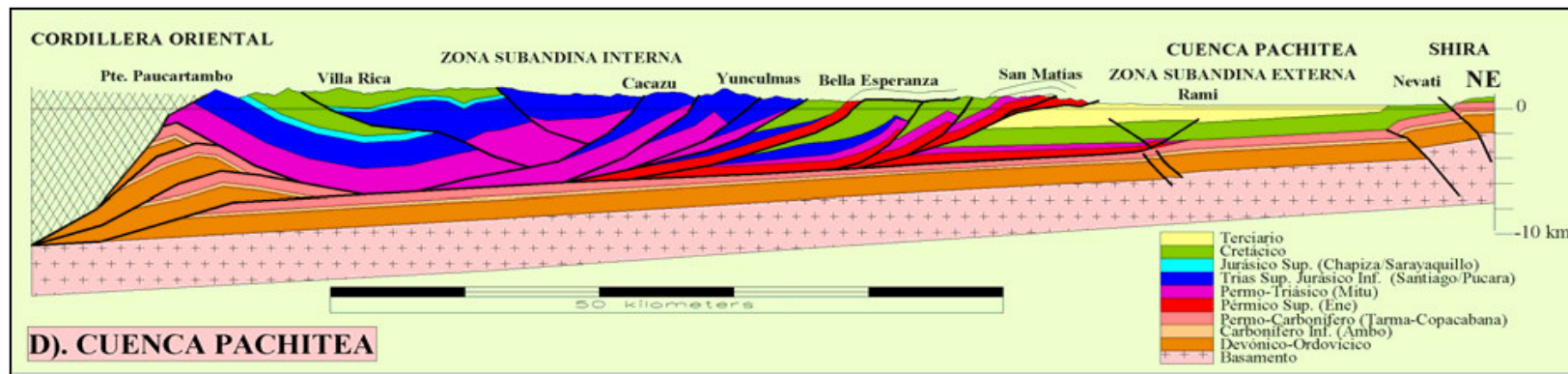


Figura 25: Sección "3"; Willy Gil, IRD (2001), ubicación en Figura 19

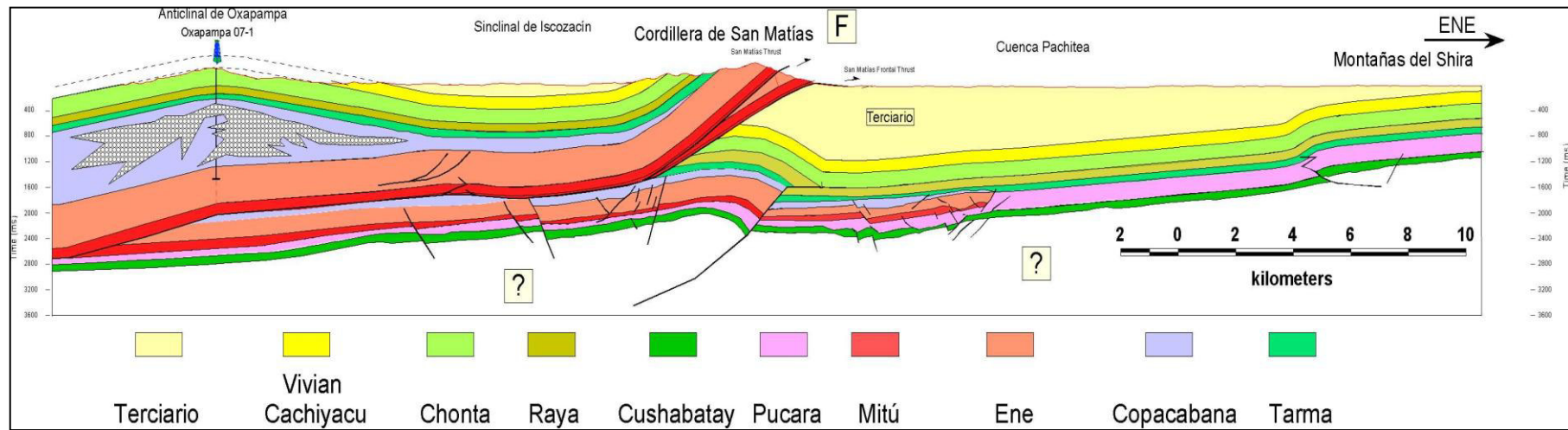


Figura 26: Sección "2"; Allcca, IRD-Perupetro (2006), ubicación en Figura 19

CÁPITULO III

III. NUEVA DATA ADQUIRIDA	39
3.1. CAMPAÑAS DE CAMPO	39
3.1.1. Campaña Boqueron Padre Abad	39
3.1.2. Campaña Río Palcazú.....	43
3.1.3. Campaña Carretera San Matías	45
3.2. INTERPRETACIÓN SÍSMICA	47
3.3. CARTOGRAFIADO GEOLÓGICO.....	52
3.4. CORRELACIONES ESTRATIGRÁFICAS REGIONALES: EL PROBLEMA?	55
3.5. NUEVA PROPUESTA ESTRATIGRÁFICA	59
3.6. DEFORMACIÓN PRE-CRETÁCICA: DISCUSIÓN.....	65
3.6.1. Rift Permo-Triásico.....	65
3.6.2. Orogenia Juruá	65

CÁPITULO III NUEVA DATA ADQUIRIDA

3.1 *Campañas de Campo*

Dentro del marco convenio IRD-PERUPETRO- Petrolífera Petroleum del Perú S.A.C., se realizaron dos campañas de campo que han permitido revisar la estratigrafía y los contactos estructurales, y hacer un muestreo para el estudio de termicidad en la zona noroccidental de la Cuenca Ucayali (Figura 27).

La primera campaña se realizó en la carretera Tingo Maria-Aguaytia (Figura 28) entre el 17 al 21 de Junio del 2013 (5 días). La segunda campaña se realizó en los afloramientos del Boquerón Padre Abad, Río Palcazú y carretera de la Serranía San Matías entre el 18 al 21 de Agosto del 2014 (4 días).

Los objetivos principales eran: 1) tener un control estructural y estratigráfico como parte de la elaboración de secciones estructurales para la presente investigación; 2) adquirir muestras de roca para análisis de termo-cronología (AFTA) y madurez de roca madre (reflectancia de vitrinita Ro).

Se adquirieron 7 muestras para análisis de termo-cronología (AFTA) y 3 muestras para análisis de reflectancia de vitrinita. (Figura 28).

3.1.1 *Campaña 1: Boquerón Padre Abad (17 al 21 de junio-2013)*

La zona estudiada se encuentra ubicada entre los departamentos de Huánuco y Ucayali en la carretera Aguaytia - Tingo María (Figura 28). Esta sección presenta referencia de campañas anteriores realizadas por José Zegarra (1964), Cooperación Técnico Peruano -Alemana (1982), Occidental (2003) y Petrolífera (2010).

La sección cuenta con un apilamiento sub-vertical de 8 km de serie sedimentaria que va desde el Permo-Triásico hasta el Terciario (Figura 29 y fotos en anexo).

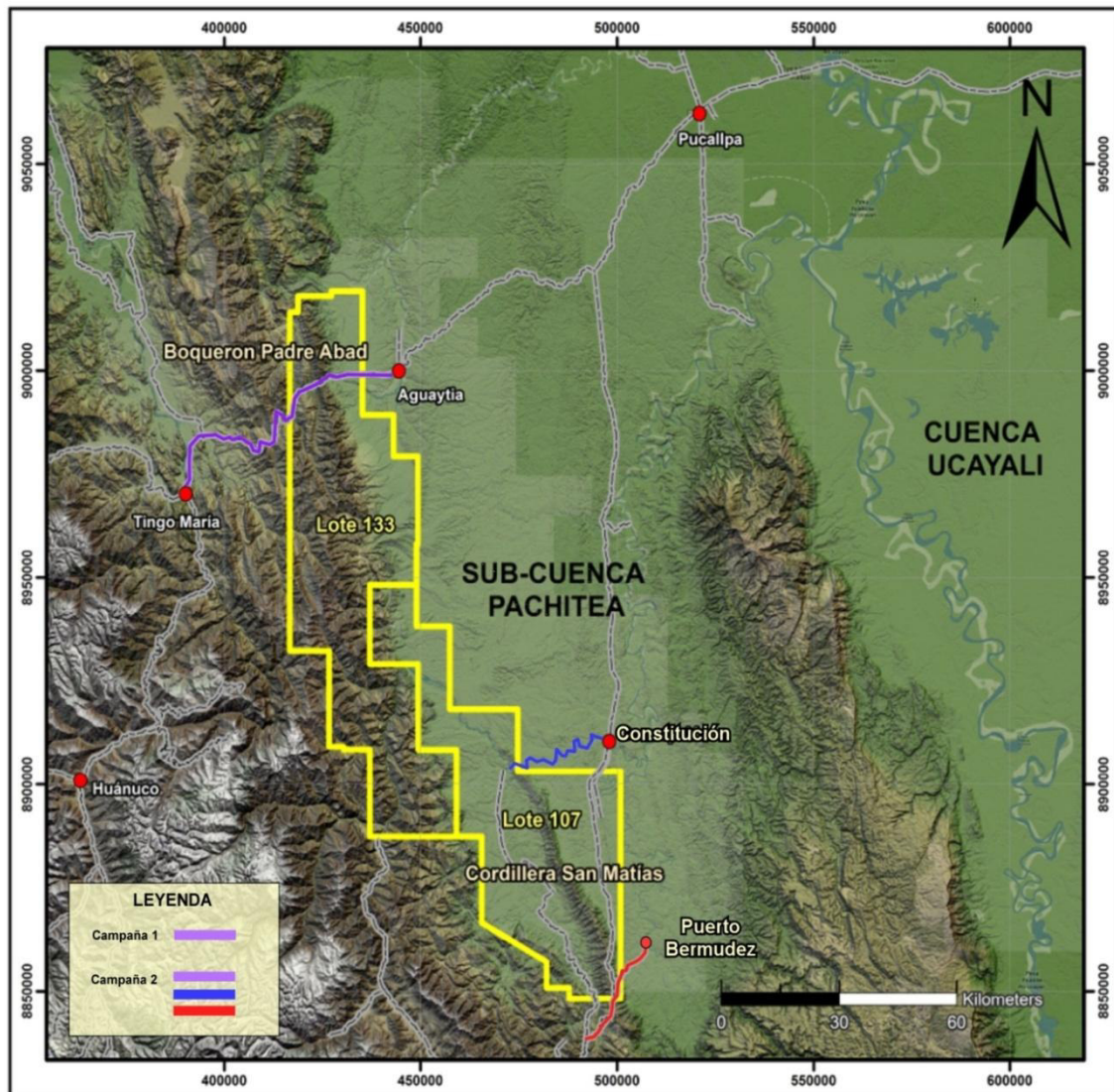


Figura 27: Ubicación de las transectas trabajadas en las campañas de campo.

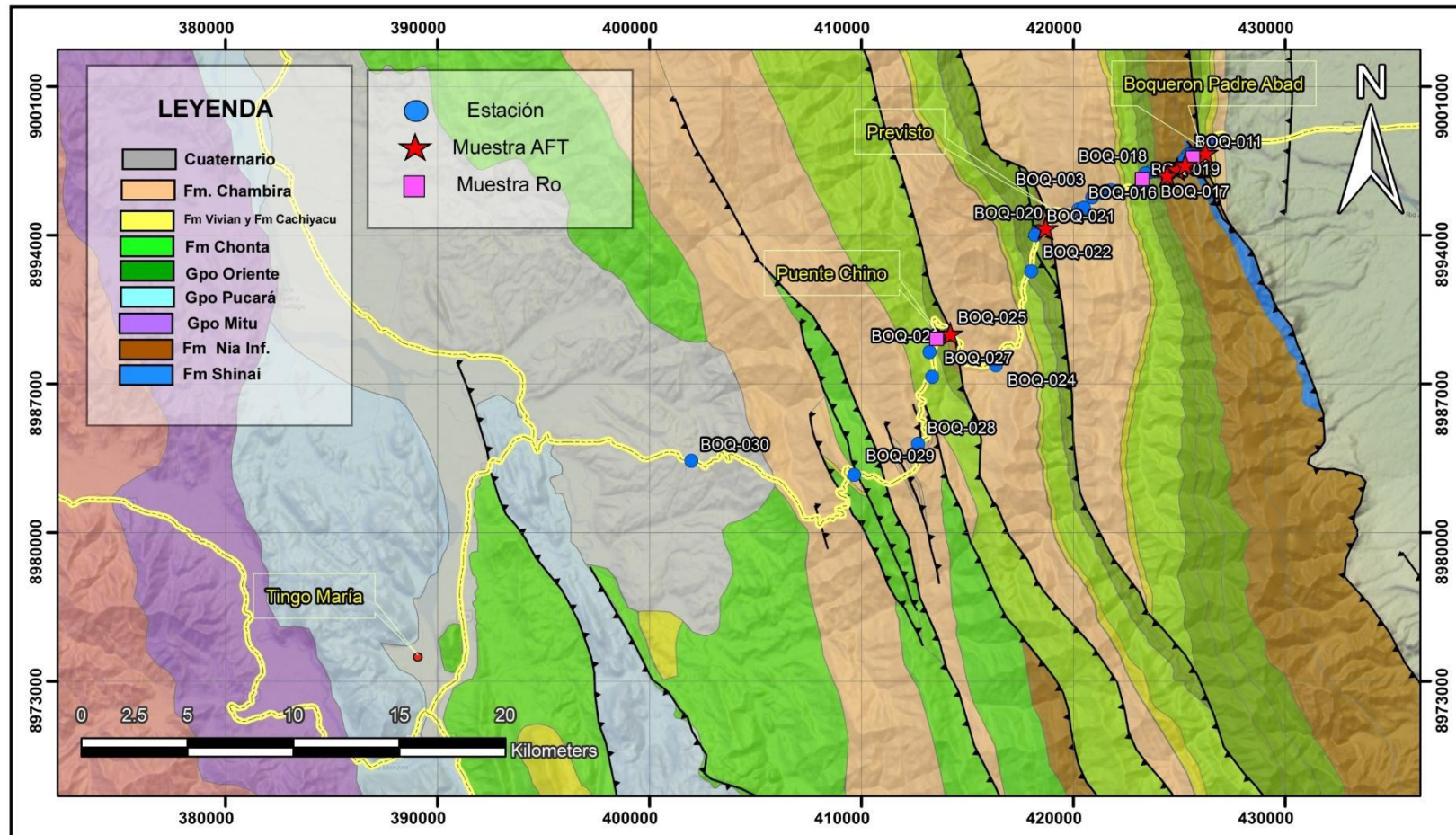


Figura 28: Mapa geológico y ubicación de las estaciones de la primera campaña de campo (carretera Tingo María-Aguaytia)

COLUMNA GENERALIZADA : Boqueron - Padre Abad

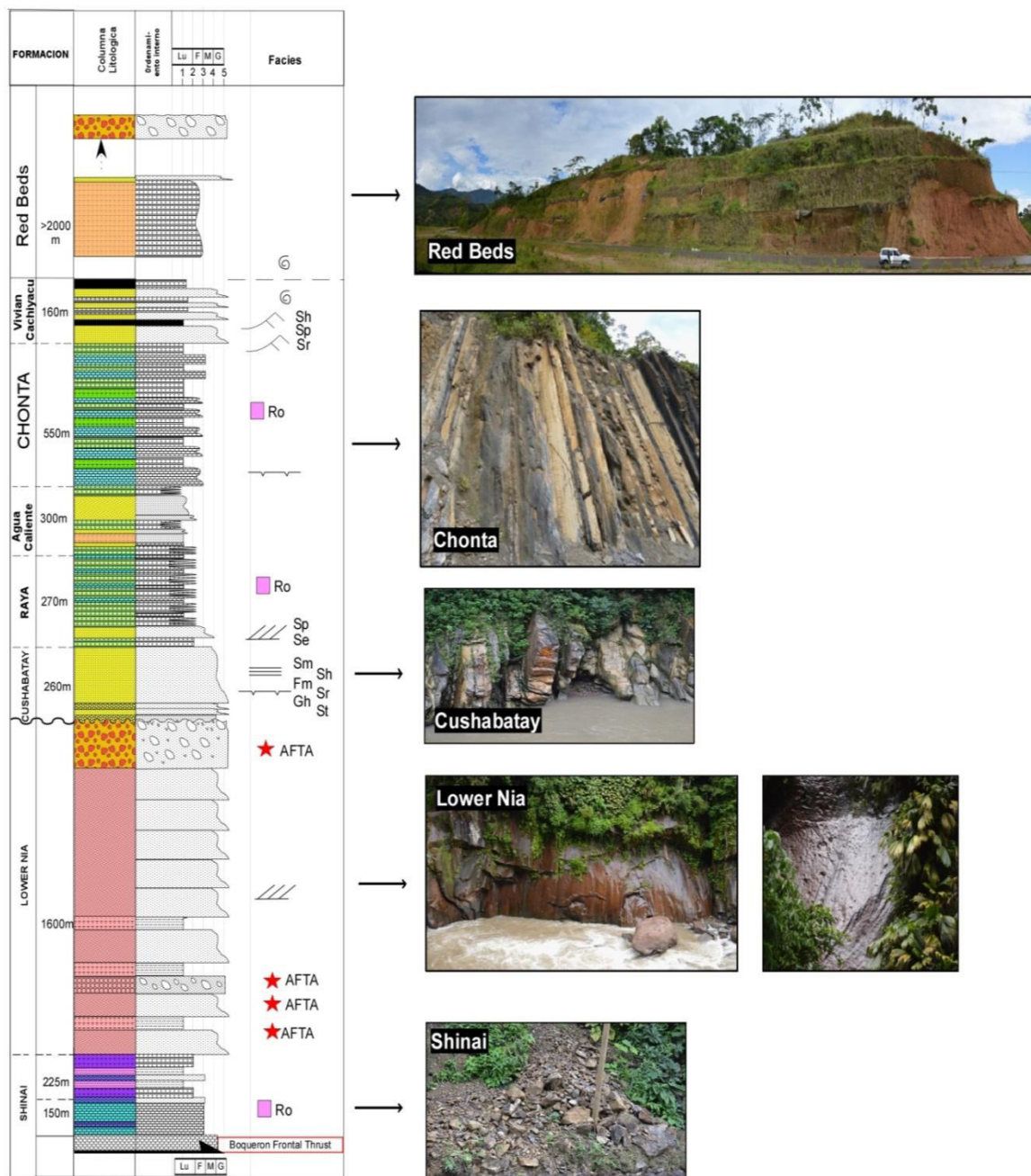


Figura 29: Columna estratigráfica del Boquerón Padre Abad (compilación a partir de observaciones de campo y de los trabajos de Valdivia (Cooperación Técnica Peruano - Alemana; 1982), Occidental (2003) y Petrolífera (2010)) indicando los niveles de muestreo para análisis AFTA y Ro. En esta columna, las formaciones pre-cretácicas no tienen dataciones.

3.1.2 Campaña 2: río Palcazu (18 al 21 de agosto -2014)

La zona estudiada se encuentra ubicada entre los departamentos de Huánuco y Pasco específicamente al norte de la Cordillera de San Matías. El acceso es a través de la carretera Pucallpa - Ciudad Constitución, la transecta abarca el trayecto del Río Palcazú (efluente del Río Pachitea) con dirección a la Cordillera de San Matías (Figura 27, Figura 30). Esta sección presenta como referencia la campaña de campo realizada por Occidental (2003).

La sección cuenta con un apilamiento de 2 km de serie sedimentaria que va desde el Cretácico Superior hasta el Terciario (Figura 31 y fotos en anexo).

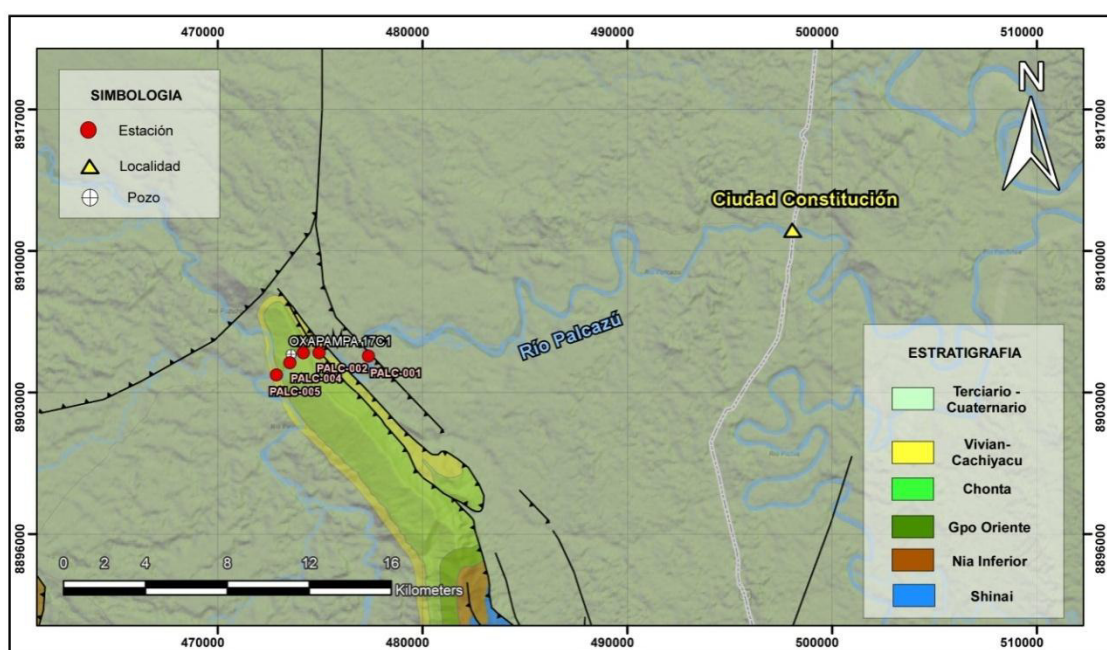


Figura 30: Trayecto de la transecta del río Palcazú mostrando los puntos de control tomados en el campo.

COLUMNA GENERALIZADA : Rio Palcazú

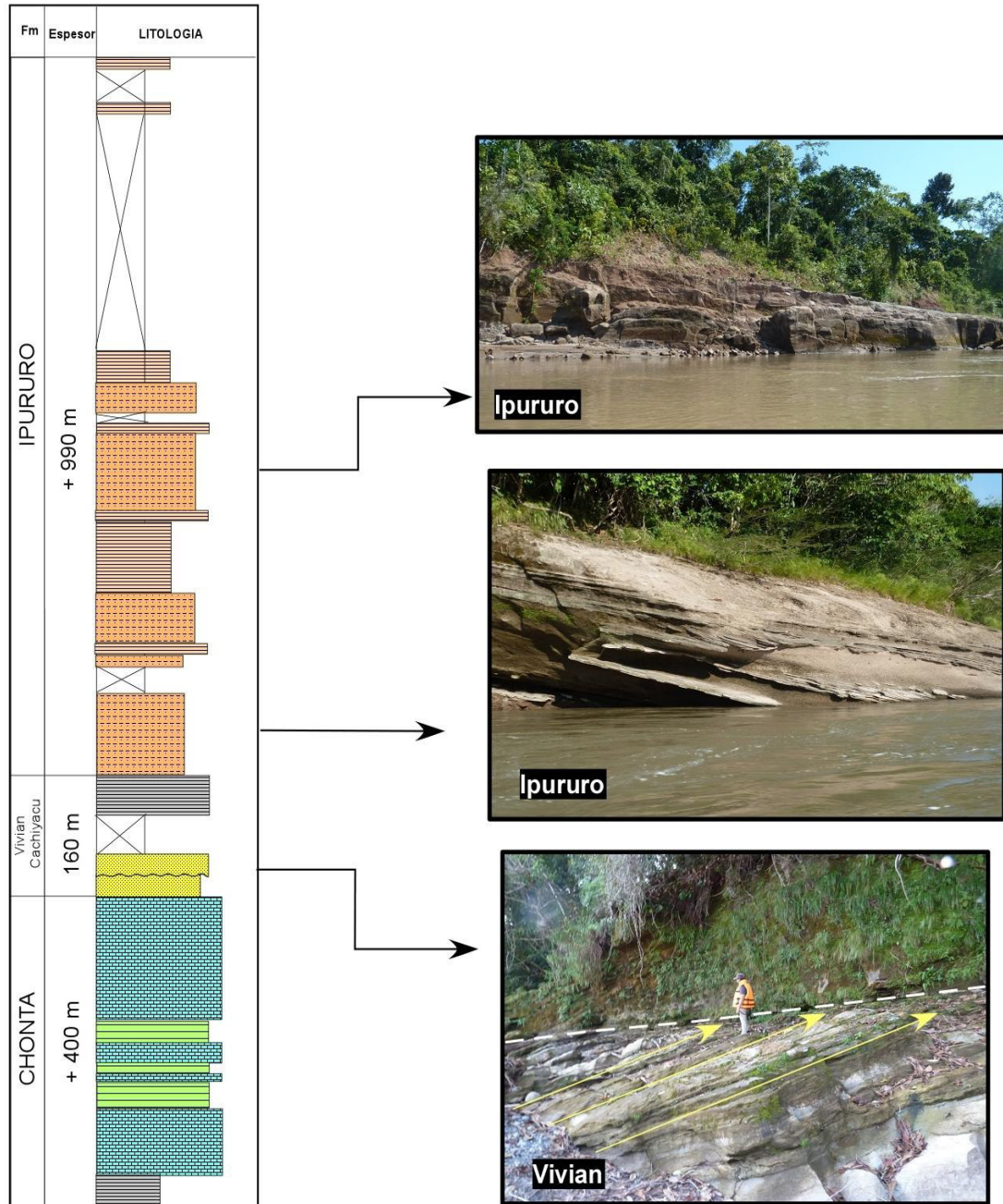


Figura 31: Columna estratigráfica compilada de la sección río Palcazú, modificada de Occidental 2003

3.1.3 Campaña 2: carretera Serranía San Matías

La zona estudiada se encuentra ubicada en el departamento de Pasco específicamente en la zona sur de la Cordillera San Matías siguiendo la carretera Puerto Bermudez (Figura 32). Esta sección tiene referencia de campañas realizadas por Gil (1995), PanEnergy (1998) y Allcca (2007). La sección cuenta con un apilamiento de 4 km que va desde el Pre-Cretácico (Permo-Triásico) hasta el Terciario (Figura 33 y fotos en anexo).

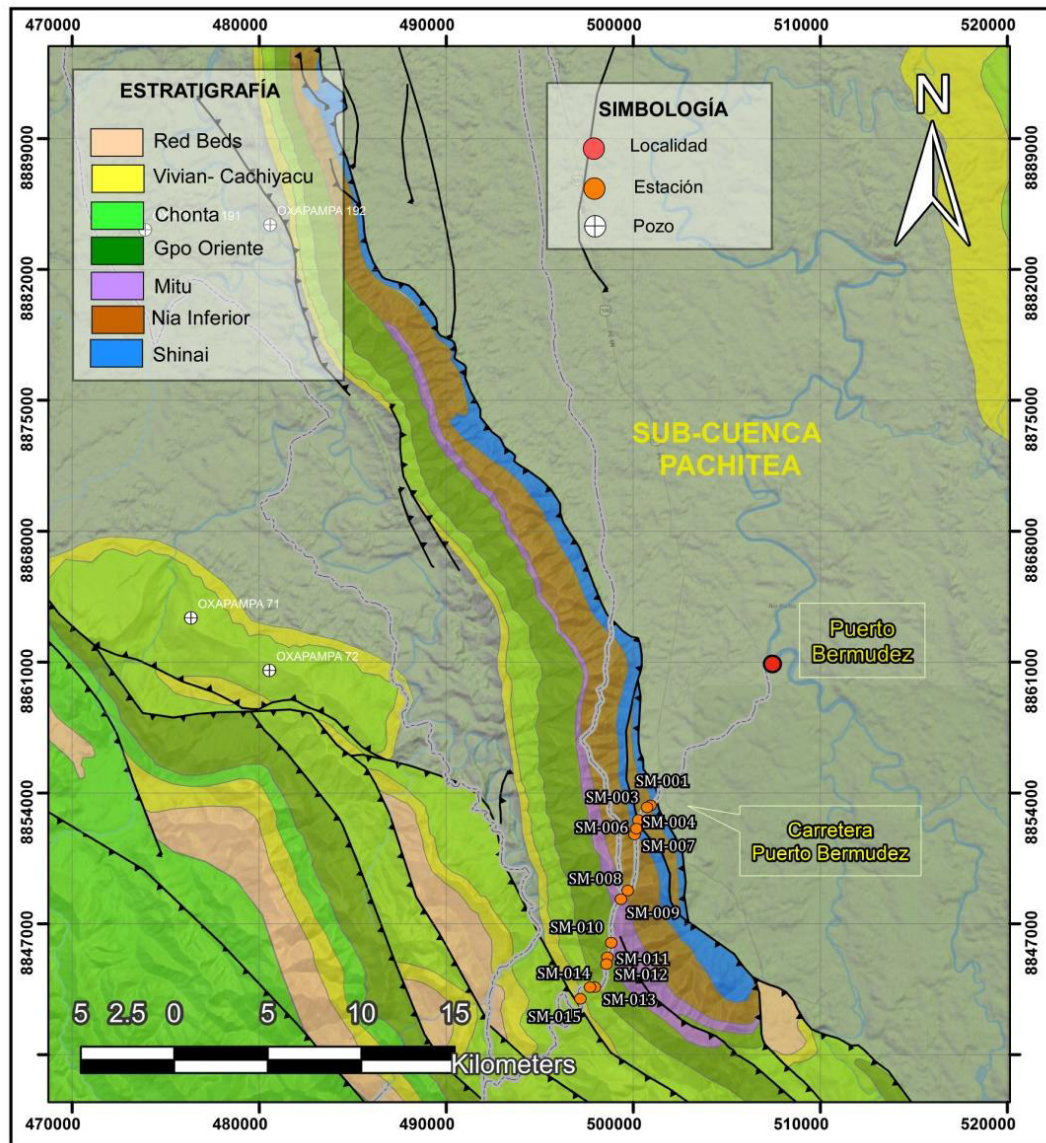


Figura 32: Mapa geológico y ubicación de la sección de la carretera Puerto Bermudez que atraviesa la Cordillera de San Matías.

COLUMNA GENERALIZADA : SAN MATIAS SUR

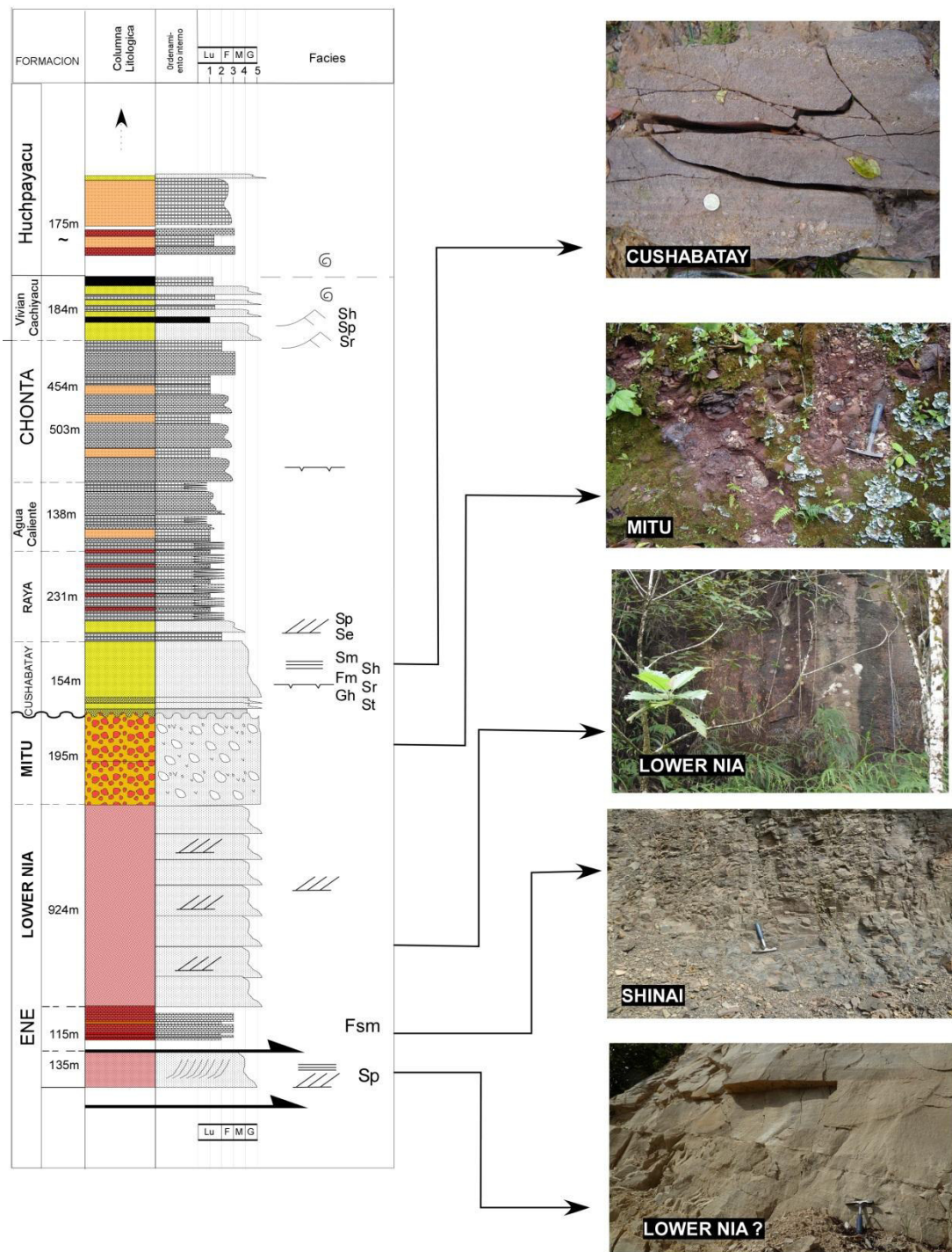


Figura 33: Columna estratigráfica tomada de IRD (2007) de la sección sur de la Cordillera de San Matías. En esta columna, las formaciones pre-cretácicas no tienen dataciones.

3.2 Interpretación Sísmica

La información sísmica utilizada comprende las campañas de Petroperú (PGSI7476L31L35) junto con la nueva campaña de Petrolífera (PP10707), la cual fue adquirida en el año 2008-2009 (Figura 10 y Figura 34). Para unir estas dos campañas, se tuvo que realizar un "ajustamiento" usando como nivel de referencia la discordancia regional de la base del Cretácico (Figura 35). Posteriormente se generaron sismogramas sintéticos en los pozos Oxapampa 7-1X, Oxapampa 7-2X, Oxapampa 19-1X, San Alejandro 1-X y Chio 1-X para calibrar los reflectores.

El control de reflectores fue realizado utilizando dos principios, el primero se establece con el reconocimiento de discordancias regionales ya identificadas anteriormente como la discordancia de la base del Cusabatabay o base Cretácica y con la discordancia de la base del Tarma-Coapacabana. El segundo principio está relacionado con los sismogramas sintéticos elaborados de los pozos perforados, para ello se realizó un control hacia la zona norte (Figura 36) con los pozos: Chio 1-X y San Alejandro 1-X; del mismo modo se realizó un control hacia la zona sur (Figura 37) con los pozos: Oxapampa 7-1X, Oxapampa 7-2X y Oxapampa 19-1X.

El objetivo es poder tener un control de reflectores sísmicos de toda la sub-cuenca Pachitea y que los reflectores interpretados con los pozos sean congruentes con la estratigrafía reconocida. Para el caso del área norte el pozo San Alejandro 1-X tiene un control estratigráfico con la presencia de unidades Cenozoicas hasta unidades del Paleozoico (Grupo Copacabana), cabe resaltar que la se reconoce una discordancia por debajo del pozo asignada a la discordancia de la base del Tarma-Copacabana complementa esta interpretación.

Hacia la zona sur el mejor control estratigráfico se obtiene del pozo Oxapampa 7-1 X el cual atraviesa el cretácico y llega hasta los conglomerados volcánicos del Grupo Mitu, para complementar la interpretación sísmica es muy importante incluir la campaña de campo realizada al Sur de la Cordillera de San Mátiás (Figura 38) que controla unidades por debajo del Grupo Mitu y se les asigna como Formación Nia Inferior y Formación Shinai por posición estratigráfica. Dentro del programa de interpretación sísmica se elaboró y modificó 5 cortes transversales a partir de secciones sísmicas en la sub-cuenca Pachitea (ver anexos).

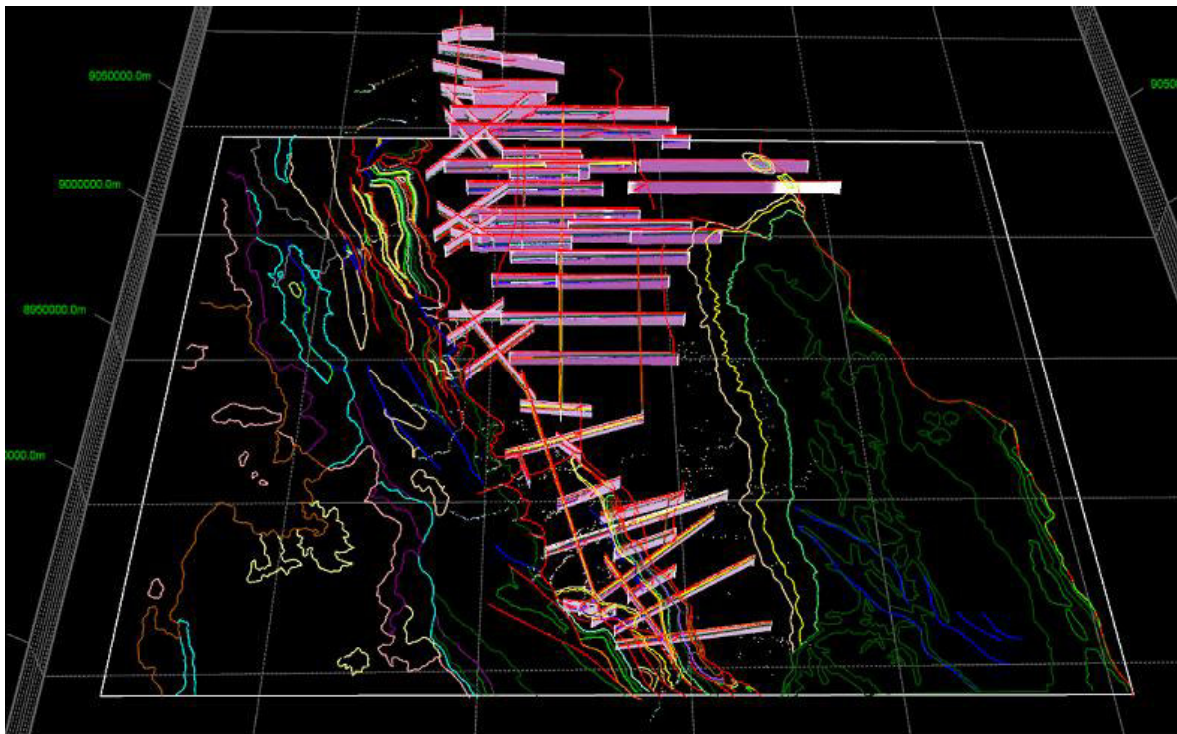


Figura 34: Proyecto Move con las dos campañas sísmicas cargadas

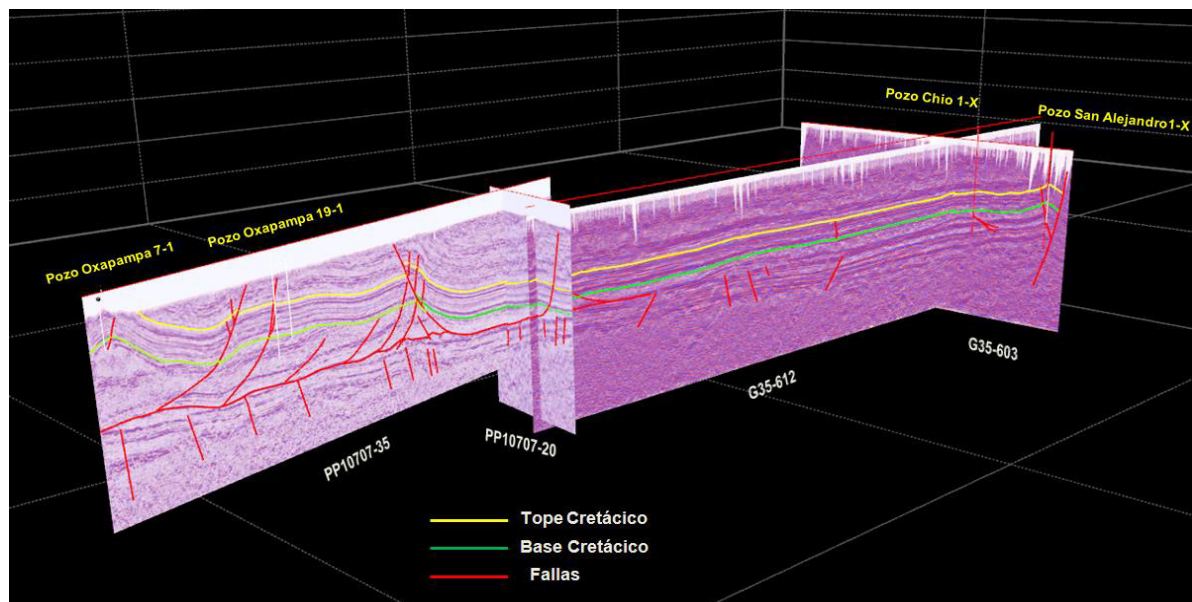


Figura 35: "Ajustamiento" de las dos campañas sísmicas a partir de la discordancia de la base Cretácica.

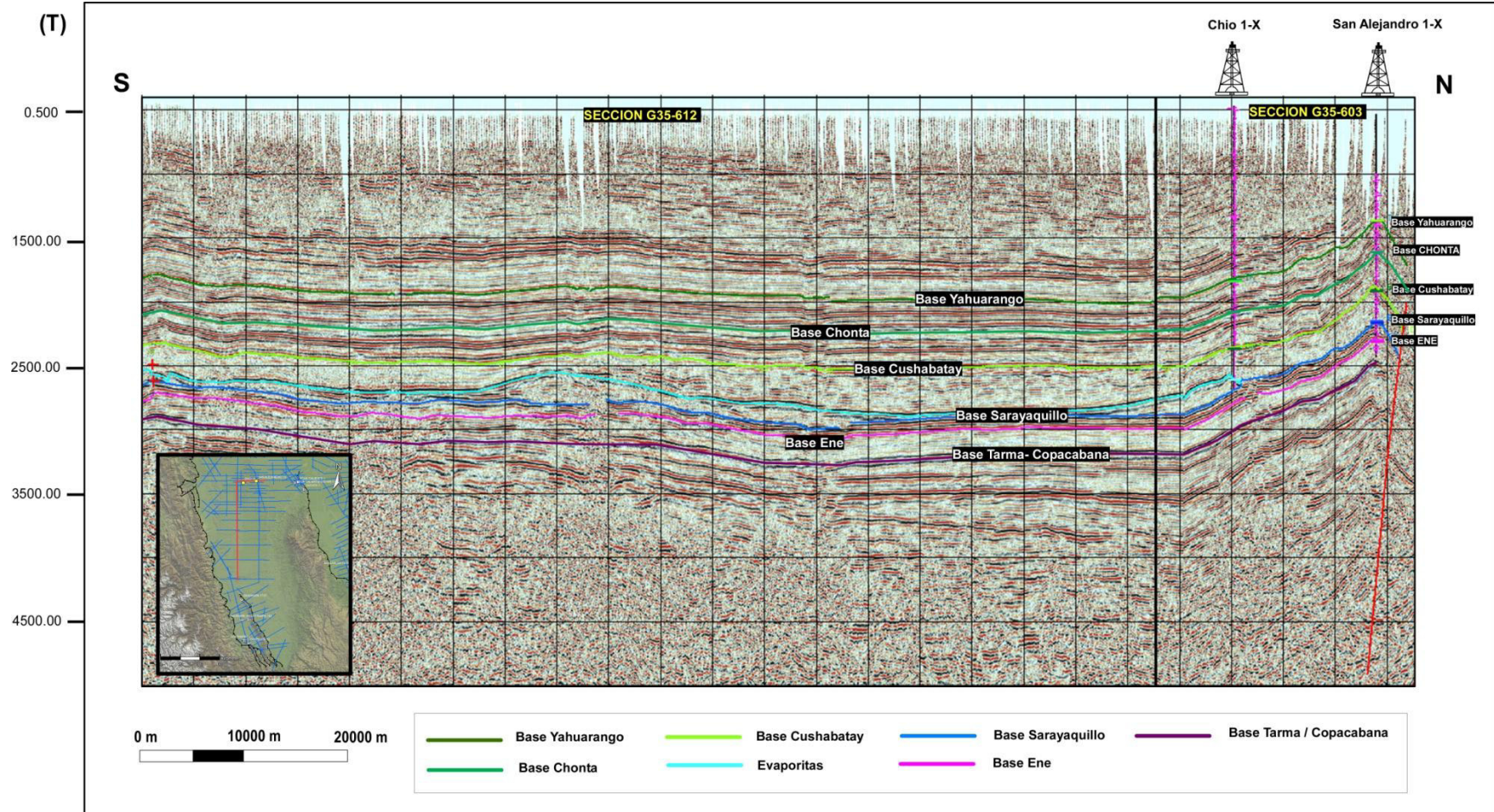


Figura 36: Interpretación sísmica para el área norte utilizando los pozos Chio 1-Xy San Alejandro 1-X.

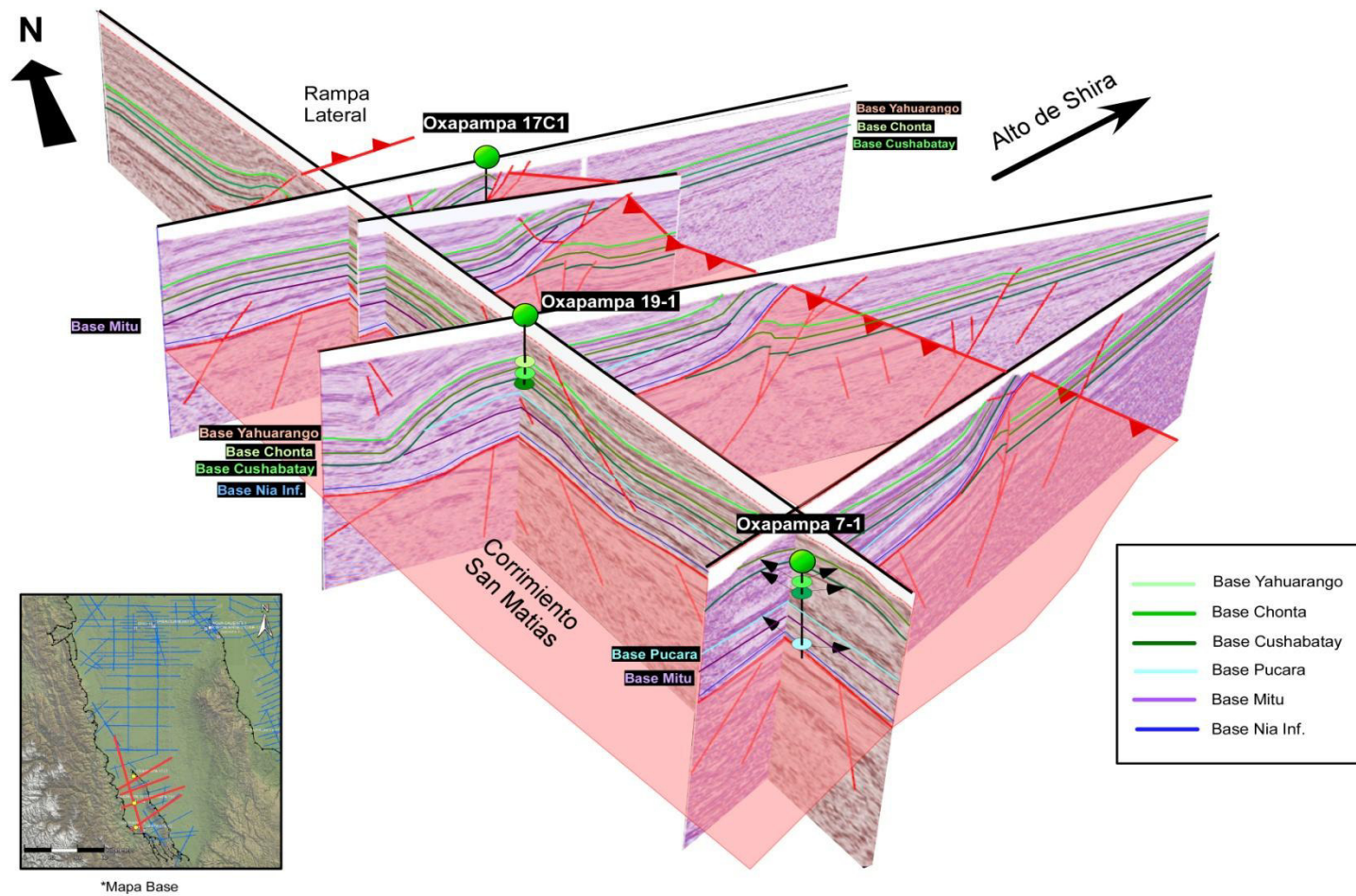


Figura 37: Interpretación sísmica del área sur (San Matías) utilizando los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 19-1 y Oxapampa 17C-1

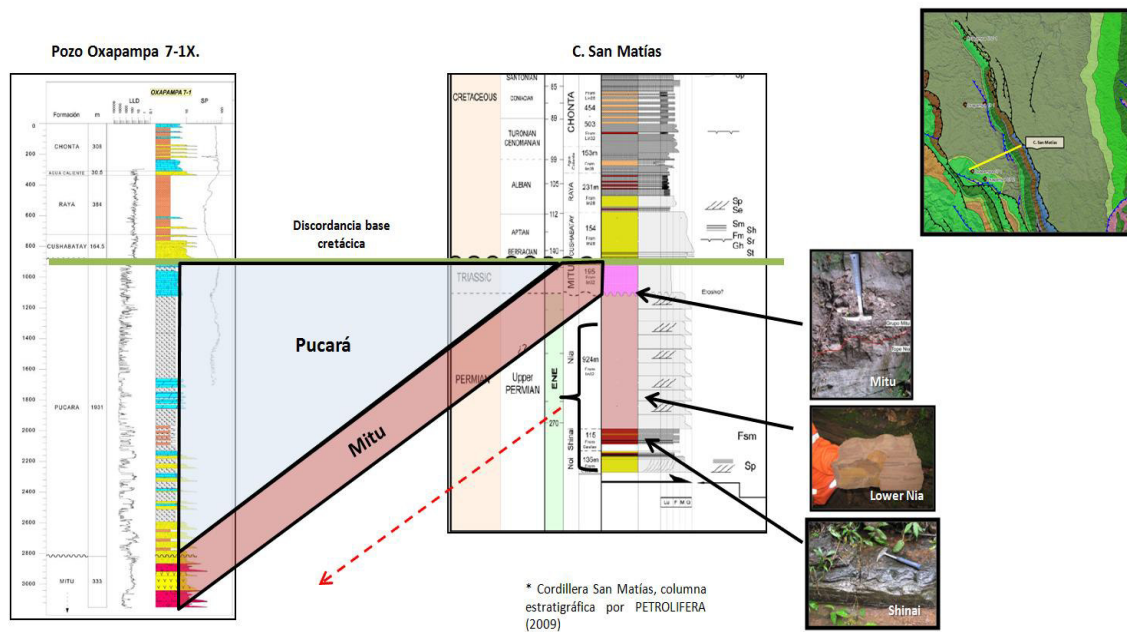


Figura 38: Correlación del pozo Oxapampa 7-1X con la columna de San Matías, queda ausente la presencia del Pucará debido a la acción de la discordancia de la base Cretácica.

3.3 Cartografiado Geológico

La cartografía de contactos estratigráficos se dio a partir del uso de imágenes satelitales del tipo landsat, imágenes radarsat asociado a DEMs (Figura 39), las cuales permiten tener control de estructuras y texturas para el mapeo de contactos geológicos y fallas (Figura 40).

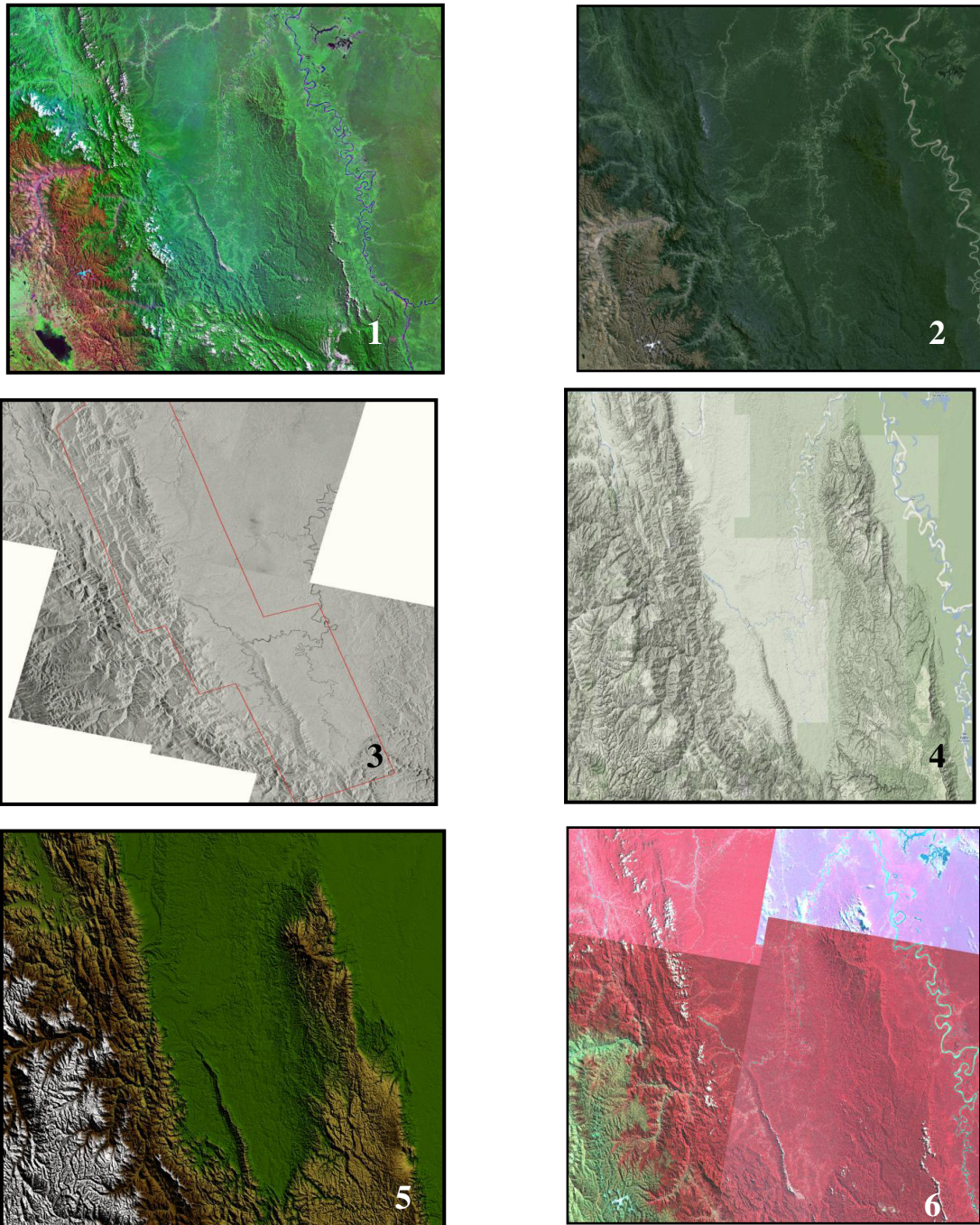


Figura 39: Se muestra los diferentes tipos de imágenes utilizadas: 1) imagen landsat; 2) imagen satelital google earth; 3) Alos Parsal; 4) imagen de relieve google maps; 5) Aster GDEM 30 m; 6) Landsat TM RGB bandas (4, 3,2)

El proceso de generación de contactos geológicos fue realizado a partir de los relevamientos geológicos llevados a cabo en el área de estudio (Figura 41), Todas las transectas fueron georeferenciadas y analizadas siguiendo el cuadro estratigráfico regional, el control se realizo a partir de las bases de las unidades estratigráficas (Figura 40).

Para las fallas geológicas fue importante también el control de la sismica realizada, teniendo como resultado una nueva propuesta de mapa geológico que servirá para la elaboración de secciones estructurales.

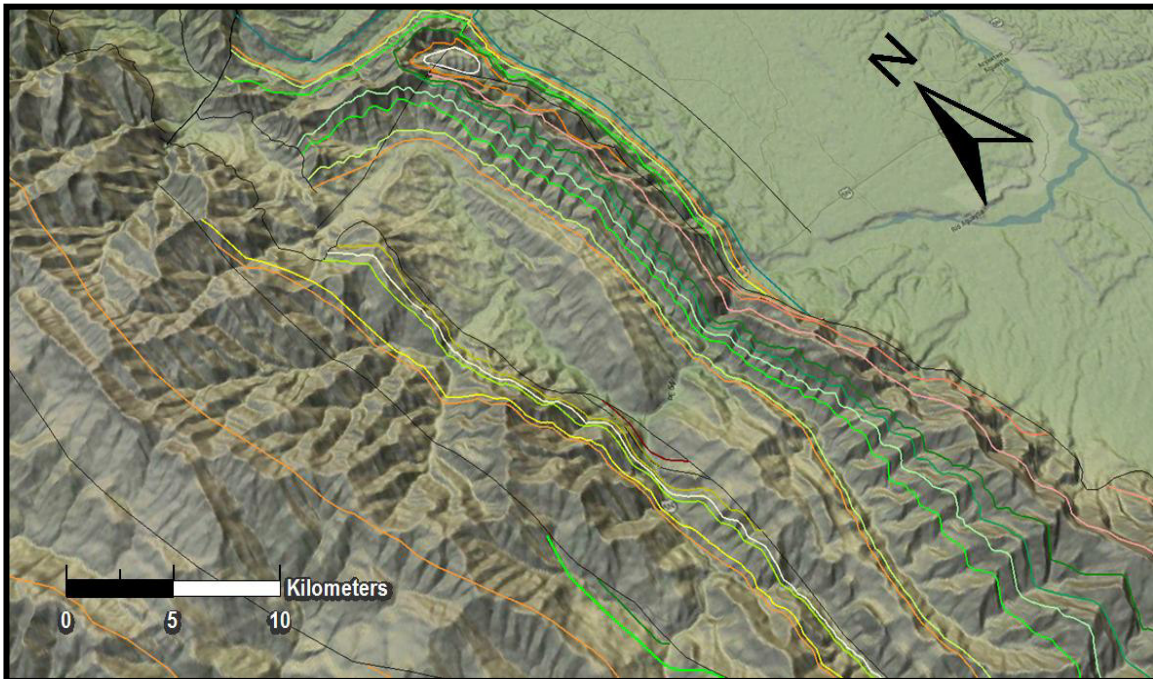


Figura 40: Resultado de la superposición de imágenes satelitales y mapeo de los contactos geológicos

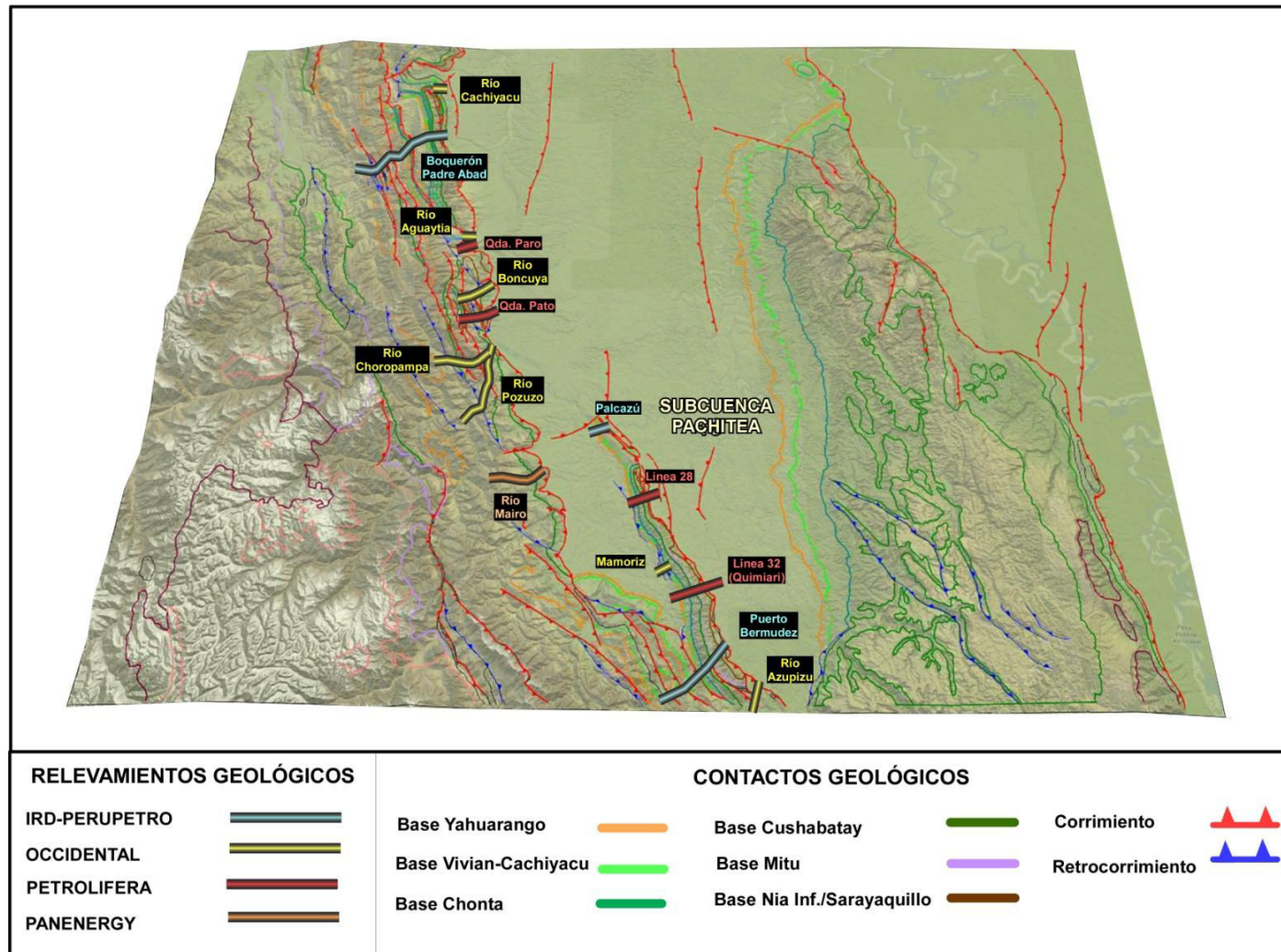


Figura 41: Imagen DEM mostrando el cartografiado geológico elaborado a partir de las campañas de campo realizadas y recopiladas

3.4 Correlaciones estratigráficas regionales: el problema?

La correlación realizada por PARSEP en el 2002 (Figura 42) muestra que las unidades pre-cretácicas de la cuenca Ucayali no son correlativas. Del SE hacia el NW, en este modelo generalmente admitido (Figura 43), desaparecen bruscamente las unidades pérmicas Ene, Noi y Shinai para pasar lateralmente a unidades triásicas y jurásicas (Grupo Pucara, Formación Sarayaquillo?). En la actualidad esta correlación no tiene sustento bioestratigráfico.

En la zona sur de la cuenca Ucayali (Camisea), PLUSPETROL (LCV-2002) reporta la presencia de hamiapollenites (polen marcador del Pérmico Superior) en las formaciones Shinai y Ene. El mismo marcador bioestratigráfico fue reportado (Pluspetrol, 2012) en el estratotipo de la Formación Ene del Pongo de Paquitzapango (Leight Rejas, 1966) al sur de la cuenca Ene. Más al norte, dentro del área de trabajo, específicamente en el pozo San Alejandro 1-X (Figura 44), Benson - PanEnergy (1998) reporta la presencia de hamiapollenites en niveles de lutitas que estaban definidas equívocamente como parte del Grupo Pucará. Estas evidencias abren la posibilidad de una prolongación de las unidades del Pérmico Superior (Ene Noi, Shinai) hacia el norte, y de una nueva propuesta del modelo estratigráfico de la cuenca Ucayali.

De la misma manera, los afloramientos pre-cretácicos del Boquerón del Padre Abad fueron reportados por Occidental (2003) como unidades pertenecientes al Grupo Pucara y a la Formación Sarayaquillo sin sustento bioestratigráfico. Hacia la Cordillera Oriental, en Tingo María el Grupo Pucara está bien datado por amonitas (Rosas, et al 2007) del Triásico Superior-Jurásico Inferior. La ausencia de estos fósiles en las calizas del Boquerón del Padre Abad deja también abierta la posibilidad de proponer otro modelo estratigráfico.

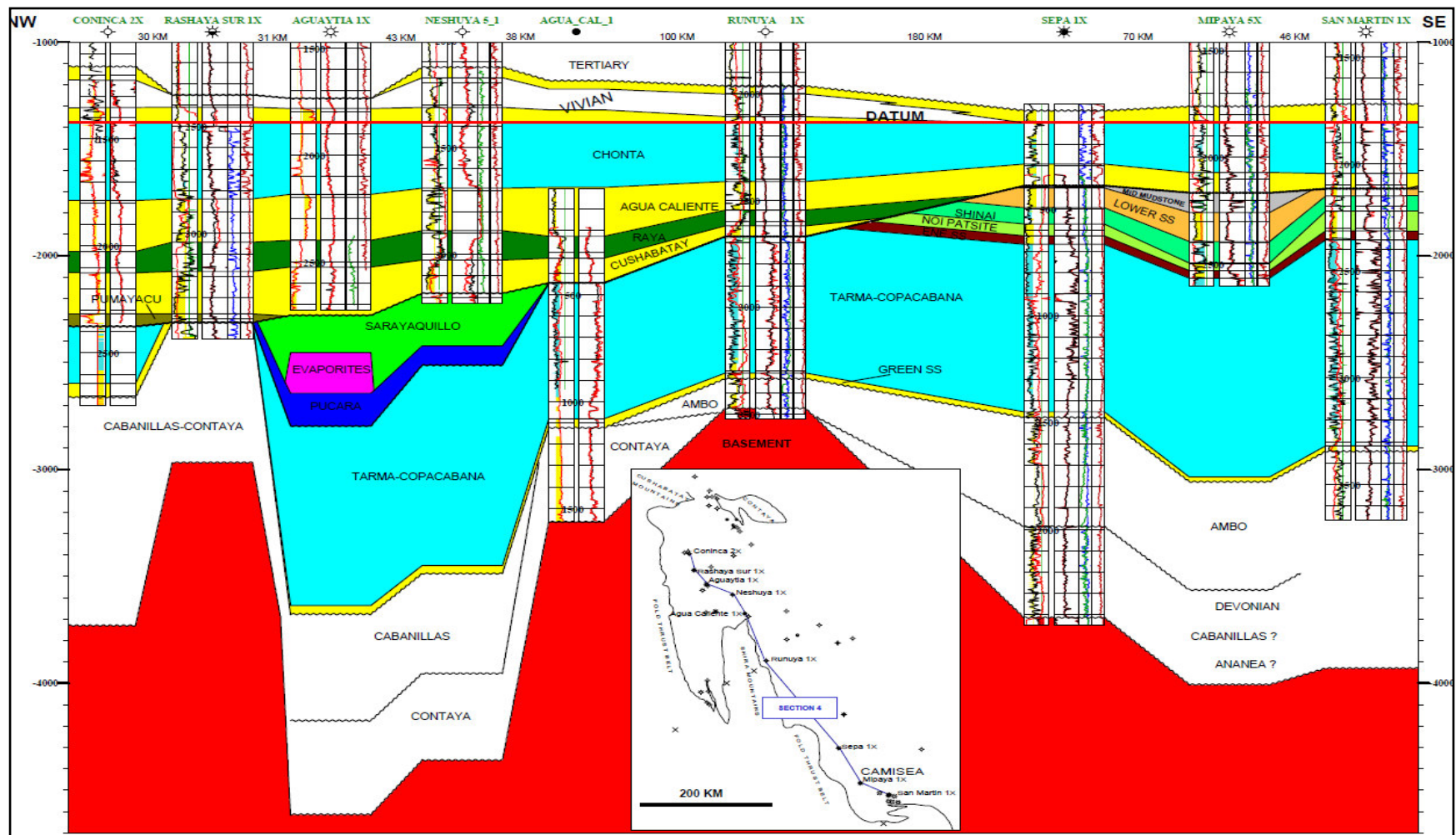


Figura 42: Correlación Sur-Norte de pozos realizada por PARSEP (2002) ilustrando la variación longitudinal de unidades pre-cretácicas de la zona sur de la cuenca Ucayali (Camisea) hasta la presente área de estudio (Ucayali Norte). Del SE hacia el NE, desaparecen bruscamente las unidades pérmicas Ene, Noi y Shinai para pasar lateralmente a unidades triásicas y jurásicas (Pucara, Sarayaquillo?).

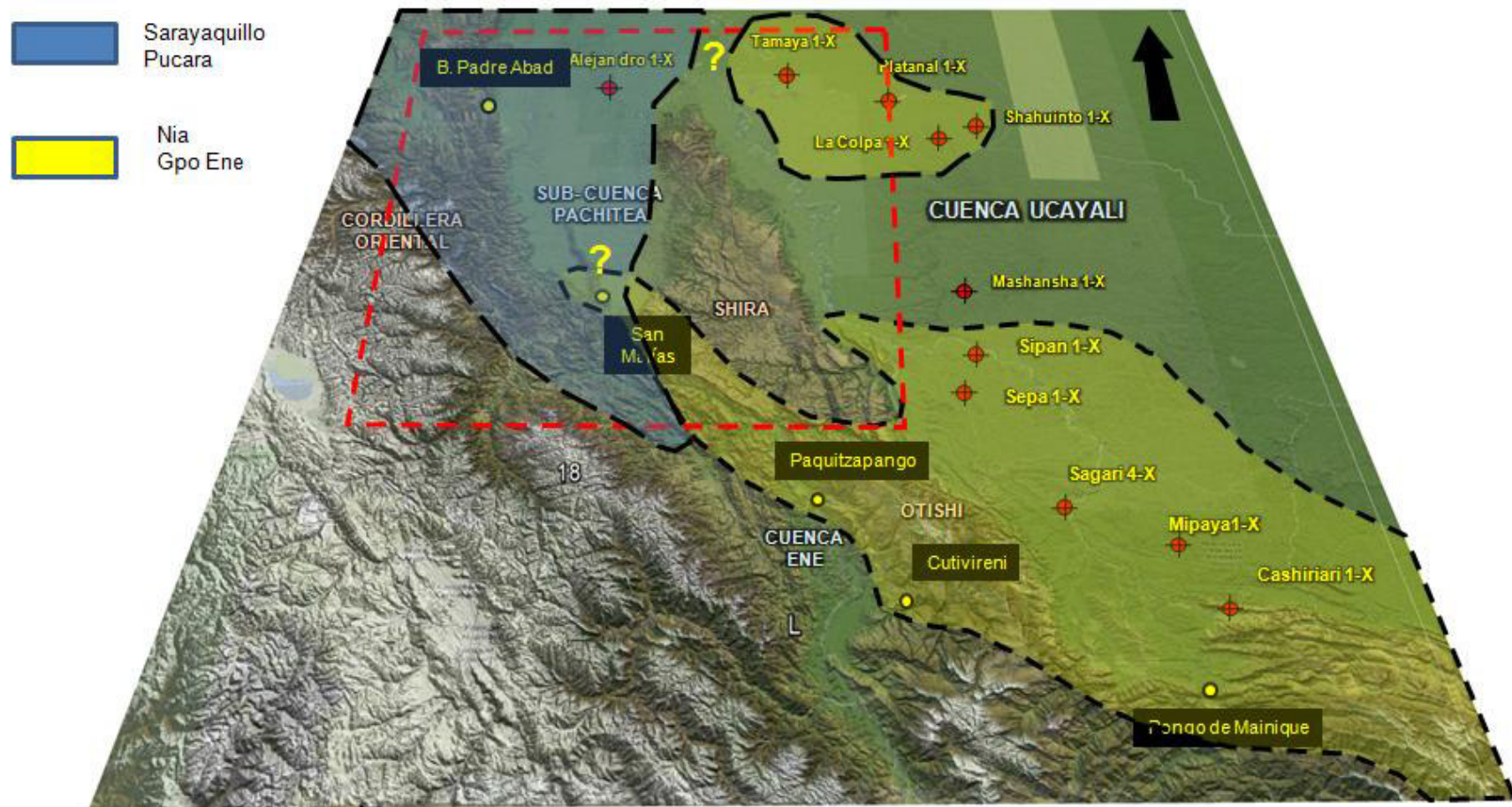


Figura 43: Distribución de afloramientos y pozos que presentan unidades pre-cretácicas en la cuenca Ucayali con los dominios estratigráficos propuestos por PARSEP (2002).

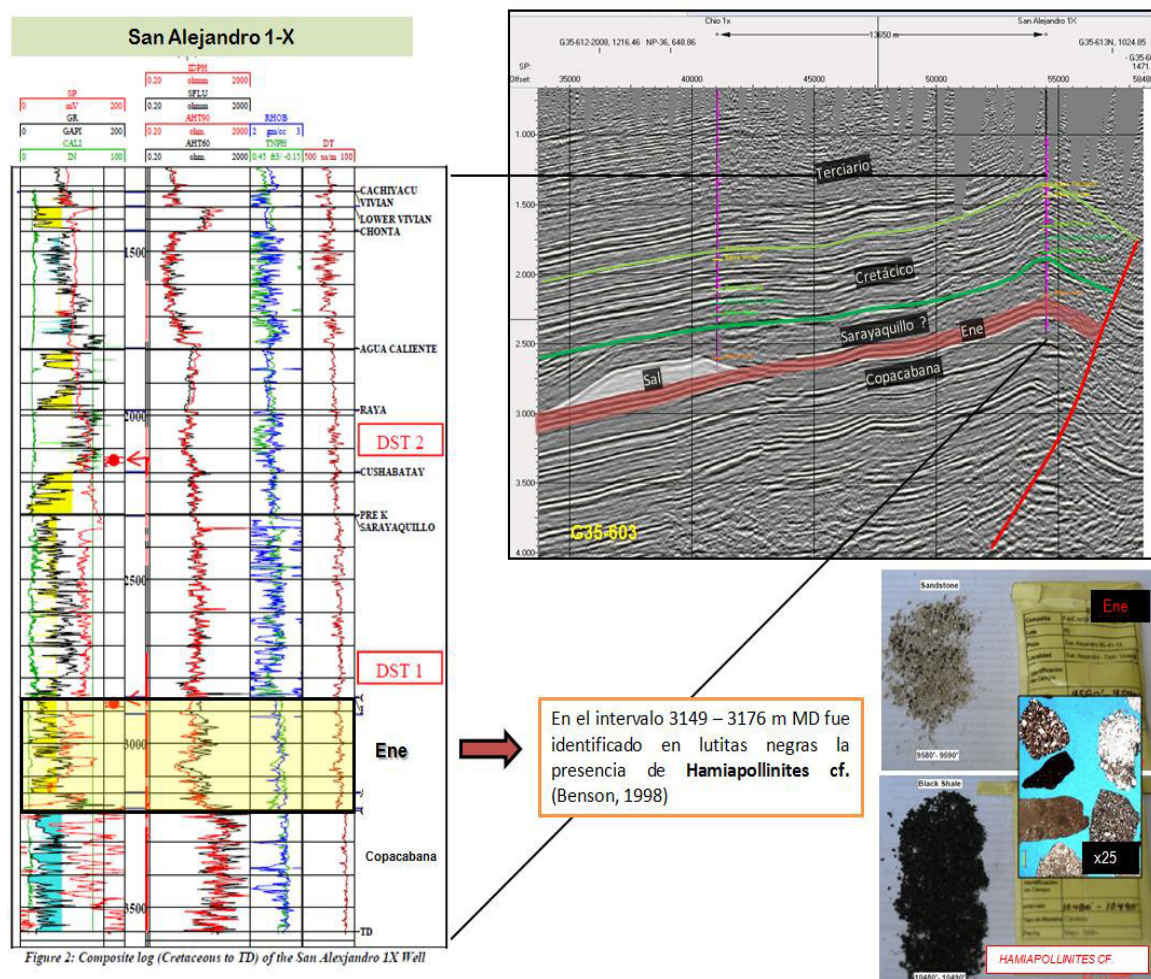


Figura 44: Pozo San Alejandro 1-X atravesando el Gpo. Ene (Fm. Ene – Noi) infrayaciendo a las evaporitas en la sección sísmica G35-603.

3.5 Nueva propuesta estratigráfica

La propuesta estratigráfica de este informe se hizo en gran parte gracias a la nueva información sísmica de Petrolifera, donde se pudo amarrar y seguir ciertos reflectores de norte a sur.

La sección sísmica compuesta de la Figura 45 está amarrada por los pozos Oxapampa 7-1 y 19-1-X, Chio 1-X y San Alejandro 1-X. Muestra la prolongación hacia el sur, bajo el corrimiento de San Matías, del marcador Ene-Noi identificado por datación bioestratigráfica en el pozo San Alejandro 1-X (Figura 44). Bajo este marcador, se nota claramente la secuencia uniforme Tarma-Copacabana que descansa en discordancia sobre el Devónico. Sobre el Ene-Noi, aparece un nivel de evaporitas que corresponde al nivel de despegue del corrimiento de San Matías. En el bloque alto del corrimiento de San Matías, se desarrolla la secuencia triásica y jurásica - identificada por dataciones bioestratigraficas en el pozo Oxapampa 7-1X (CERROPET, 1961) -progresivamente erosionada hacia el noreste por la base del Cretácico. Un segundo nivel de evaporitas está puesto en evidencia en el pozo Oxapampa 7-1X en la verdadera Fm. Pucara. Este mismo dispositivo esta puesto en evidencia en la sección compuesta de la Figura 46, donde se realizó un “flattening” en el tope de la Fm. Copacabana.

A partir de esas observaciones, se ha tratado de hacer correlaciones de secciones de campo (Figura 47) en base a similitud en litología y facies de las diferentes unidades levantadas, puesto que no se logro a obtener todavía dataciones en los afloramientos de la parte norte de la cuenca Ucayali. Para esta nueva propuesta, se tomo la nomenclatura estratigráfica ya conocida en Camisea (Pluspetrol,2002).

Nuevas correlaciones de pozos están también propuestas en las Figura 48 y Figura 49

Esas correlaciones están ilustradas también por el ultimo diagrama litoestratigráfico propuesto en el marco del convenio IRD-PERUPETRO (Figura 52).

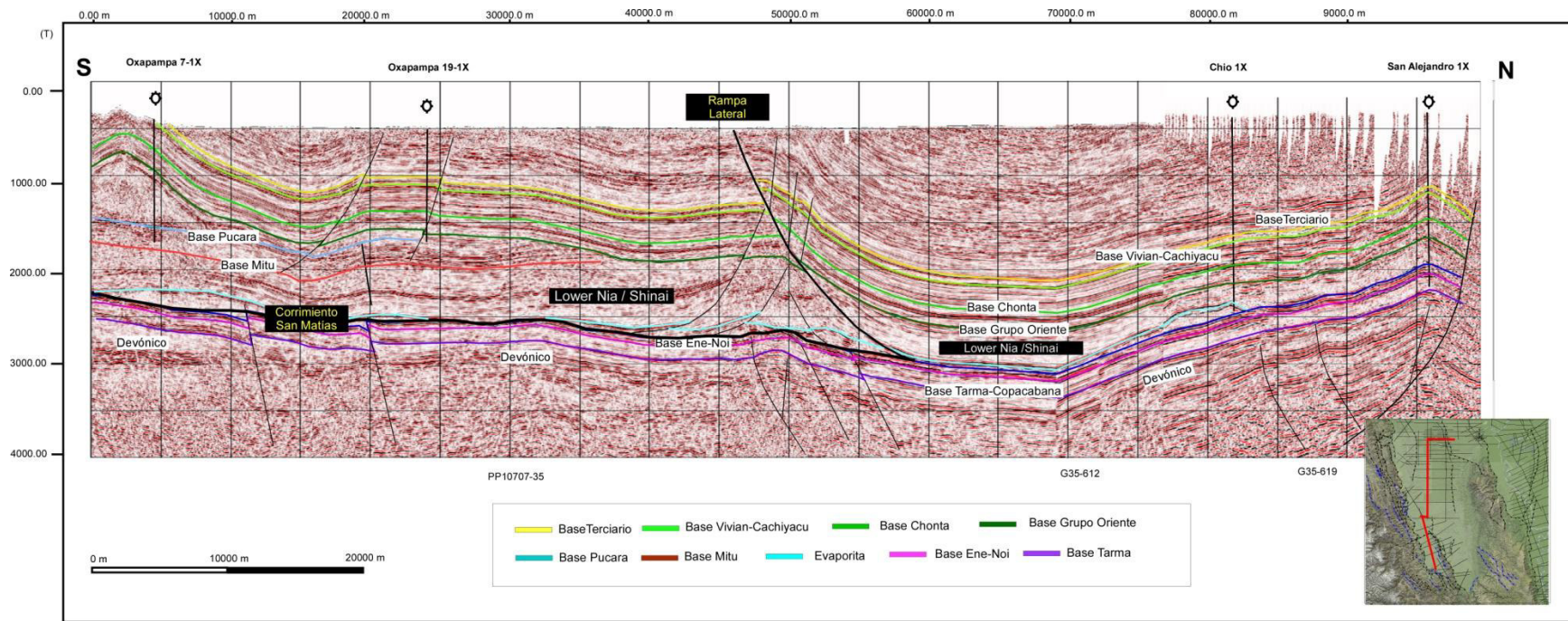


Figura 45: Sección sísmica Norte-Sur amarrada con los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 19-1X, Chio 1X y San Alejandro 1X, ilustrando la correlación de reflectores, y la extensión del sistema pérmico con sus colchones de evaporitas.

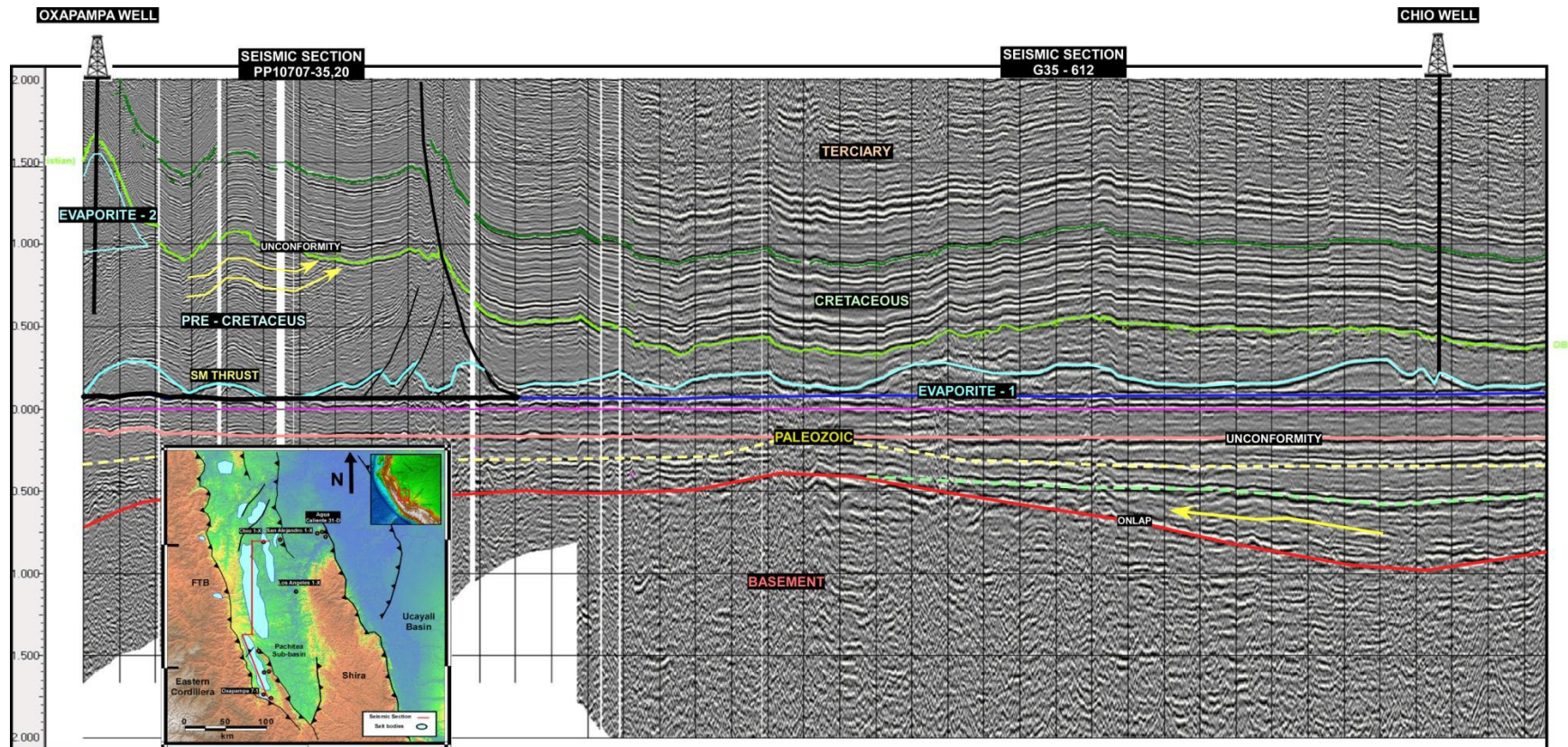


Figura 46: Sección sísmica compuesta PP10707-35, PP10707-20 y G35-612 con “flattening” al nivel del tope Copacabana. Se puede presenciar los dos niveles de evaporitas (pérmico y jurásico).

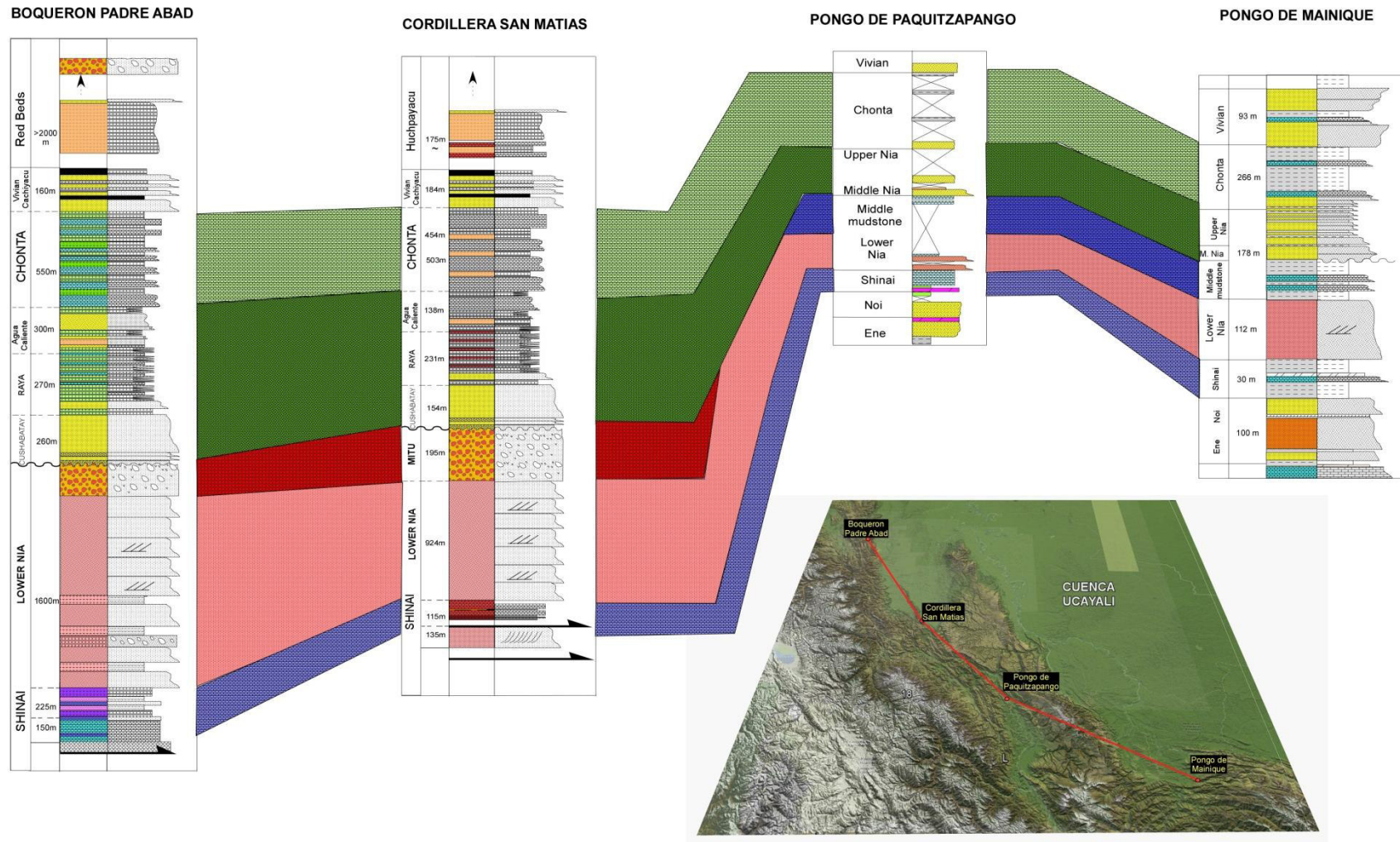


Figura 47: Correlación de secciones litoestratigráficas de campo. Del Norte al Sur: Boquerón Padre Abad (Columna IRD, 2014); Cordillera San Matías (modificado de Allcca, 2007); Pongo de Paquitzapango (modificado de Leight Rejas, 1966); Pongo de Mainique (Pluspetrol, 2002).

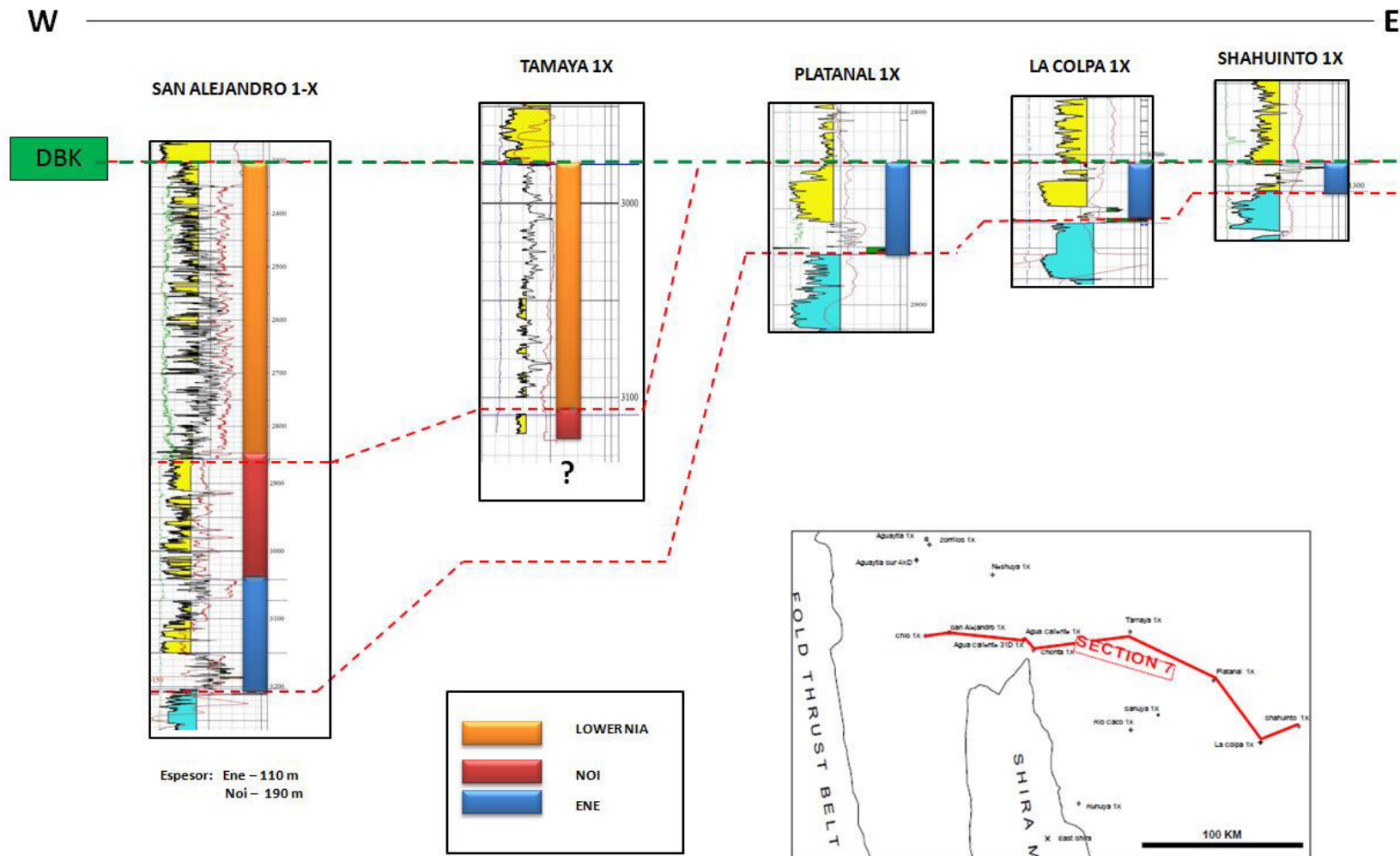


Figura 48: Nueva correlación W-E de los pozos San Alejandro 1-X, Tamaya 1-X, Platanal 1-X, La Colpa 1-X y Shahuinto.

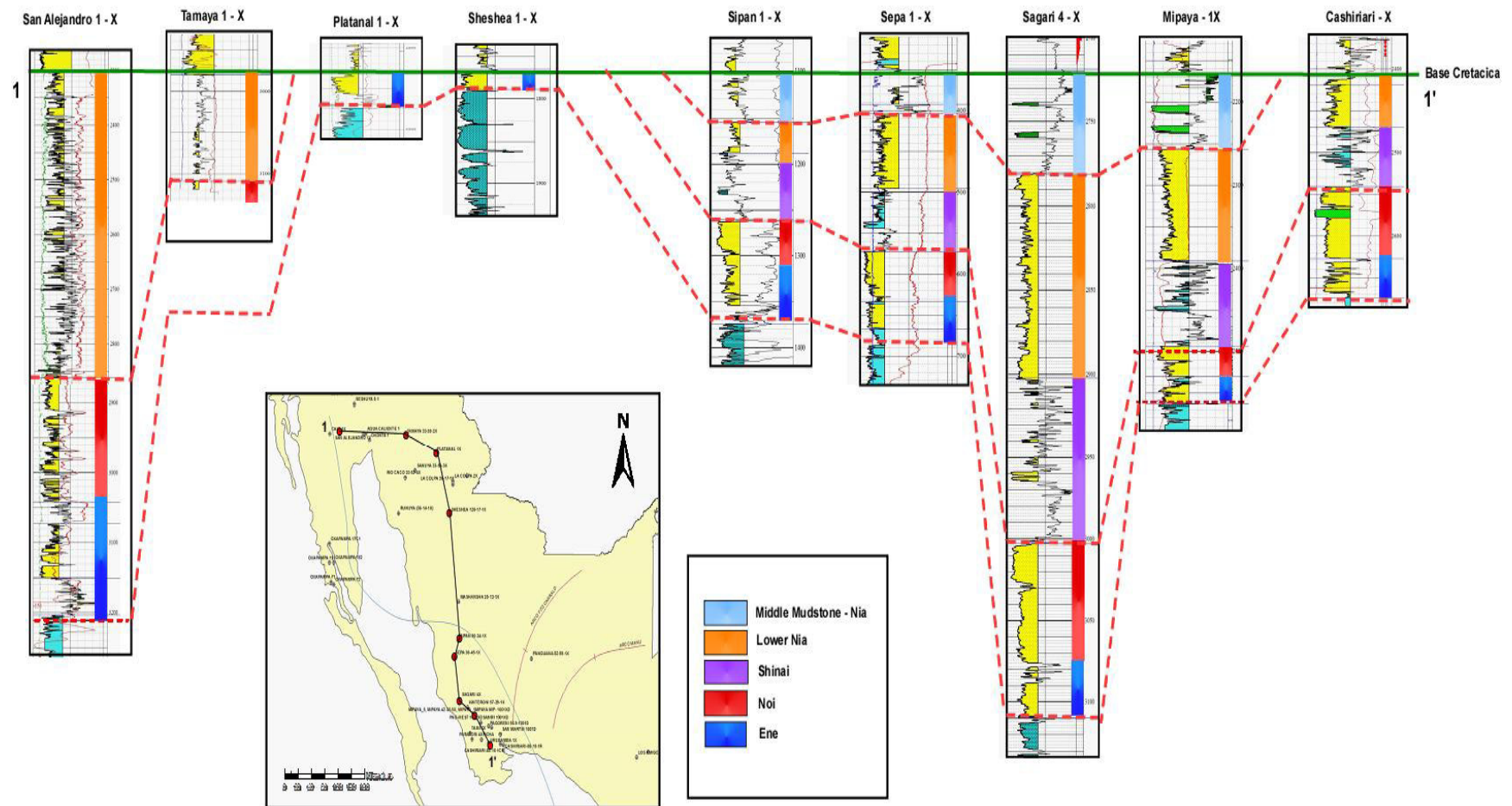


Figura 49: Nueva correlación N-S de los pozos Alejandro 1-X, Tamaya 1-X, Platanal 1-X, Sheshea 1-X, Sipan 1-X, Sepa 1-X, Sagari 4-X, Mipaya 1-X y Cashiriari 1-X.

3.6 Deformación pre-cretácica: discusión

3.6.1. Rift permo-triásico

Dentro de la correlación de unidades pre-cretácicas, es posible observar en la sección G35-601 (Figura 50) la inversión del rift permo-triásico. Según el nuevo modelo estratigráfico que hemos presentado anteriormente, el rift empieza con las evaporitas y las lutitas de la Fm. Shinai. Después, se desarrollo durante gran parte del triásico creando espacio para los depósitos proximales del Grupo Mitu (abanicos aluviales) o los depósitos más distales de la Formación Nia Inferior (eólico, fluvial) (ver cuadro de la Figura 52).

3.6.2. Orogenia Juruá

Dentro del análisis estructural cabe resaltar ciertas estructuras que muestra la nueva sísmica de Petrolífera. Hacia la zona norte del área de estudio, fue posible reconocer la presencia de una zona triangular formada por un duplex (Figura 51) que repite niveles paleozoicos y que deforma lo que se interpreta como Formación Nia Inferior -Sarayaquillo. Esta deformación no afecta el Cretácico Superior, por el contrario se preserva por debajo de su base erosiva. Si se confirma que esta deformación deforma la Formación Nia Inferior -Sarayaquillo, se la podría considerar como deformación producto de la Orogenia Juruá descrita en las cuencas de Solimoes y Acre de Brazil (Caputo, 2014), ya descrita en Perú (Bump et al., 2008). Está también ilustrada por las secciones B-B' (Figura 68), C-C' (Figura 69) y D-D' (Figura 70).

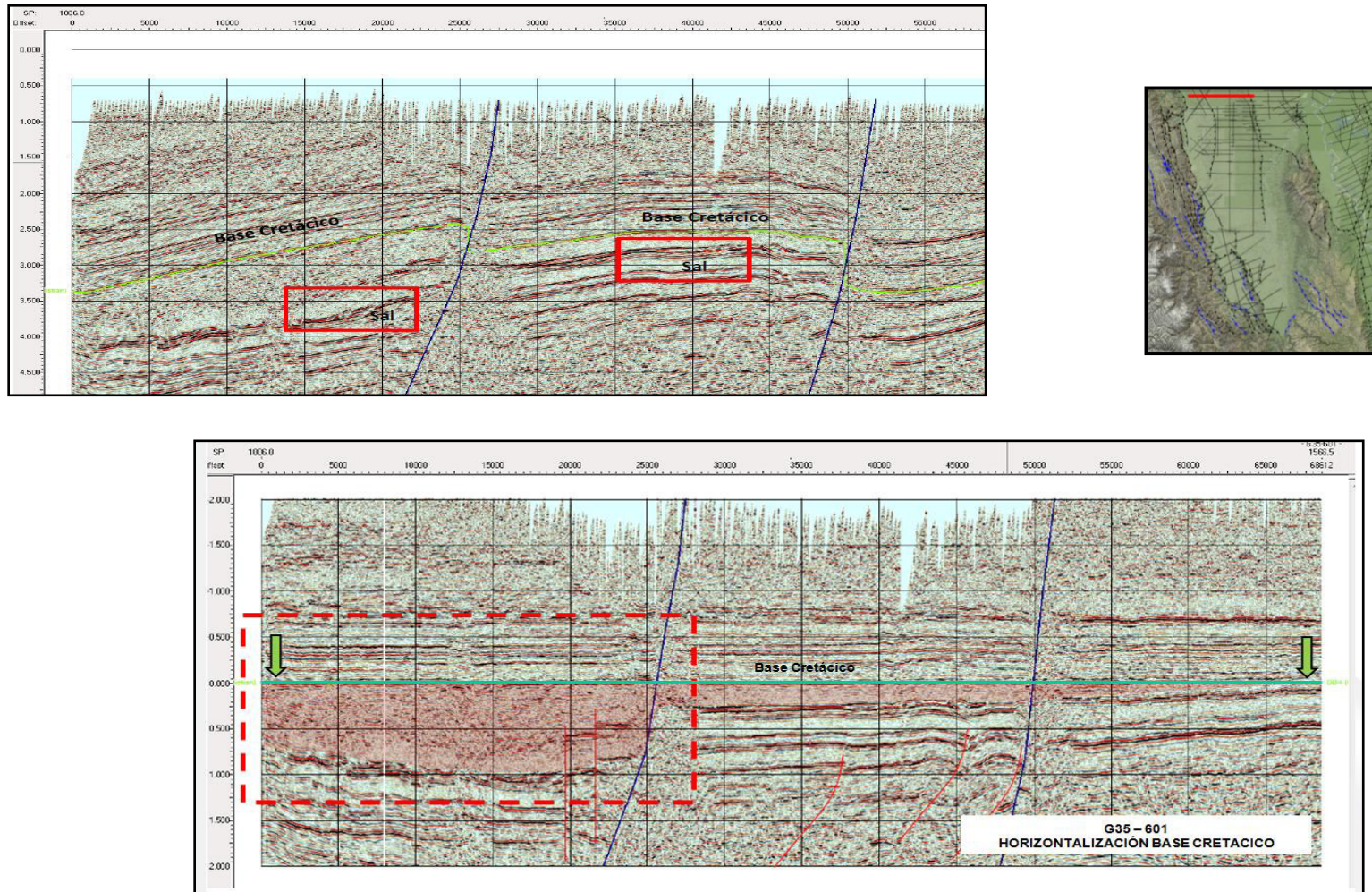


Figura 50: Flattening de la sección G35-601 a la base del Cretácico Superior ilustrando la inversión del rift permo-triásico. El relleno sedimentario podría corresponder a las formaciones Mitú y Nia Inferior

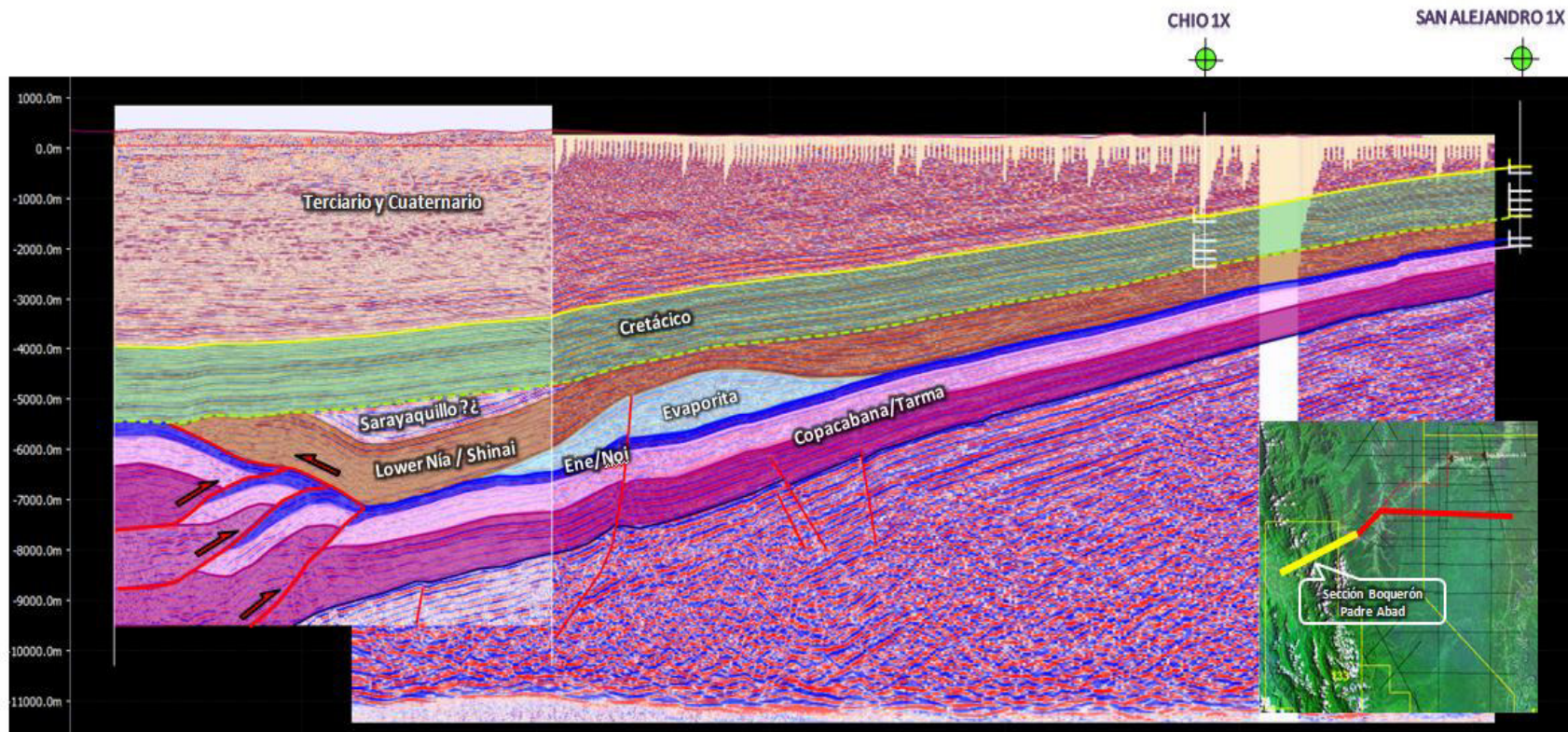
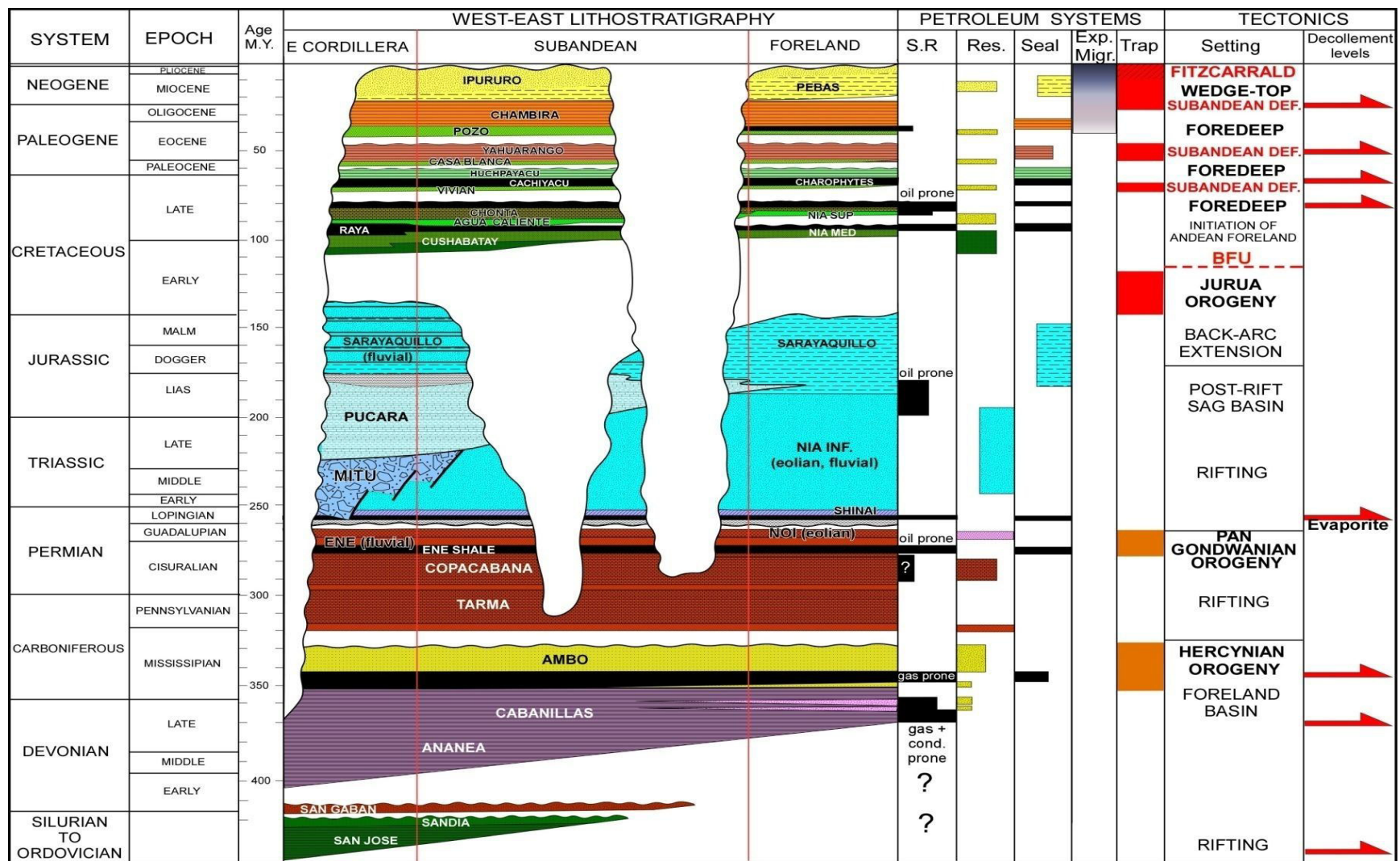


Figura 51: Sección sísmica compuesta W-E con secciones PP10707-12 y G35-604W.



IRD-PPT 2014

Figura 52: Último diagrama litoestratigráfico del Subandino peruano propuesto en el marco del convenio IRD- PERUPETRO (2014)

CÁPITULO IV

IV	<u>CONSTRUCCION DE SECCIONES ESTRUCTURALES</u>	70
4.1.	CONVERSIÓN DE SÍSMICA DE TIEMPO A PROFUNDIDAD	70
4.2.	SECCIONES ESTRUCTURALES	72
4.3.-	CONSTRUCCIÓN DE SECCIONES BALANCEADAS	79
	<i>Sección A- A' (Oxapampa- San Matías- Shira)</i>	<i>83</i>
	<i>Sección B- B' (Codo de Pozuzo-Shira)</i>	<i>83</i>
	<i>Sección C- C' (Tingo María- Boquerón Padre Abad- Agua Caliente)</i>	<i>86</i>
	<i>Sección D- D' (Boquerón Padre Abad-Iscozacín)</i>	<i>86</i>
4.4.-	ANÁLISIS ESTRUCTURAL	89
	<i>Sección San Matías</i>	<i>89</i>
	<i>Sección Boquerón Padre Abad</i>	<i>92</i>

CÁPITULO IV CONSTRUCCION DE SECCIONES ESTRUCTURALES

4.1.- Conversión de sísmica de tiempo a profundidad

Una sección sísmica no es una representación real del subsuelo, por lo que es necesario convertir los valores de tiempo (milisegundos) a valores de profundidad (metros). Para esto, se elabora una tabla de conversión tiempo-profundidad utilizando datos de velocidades obtenidas durante el procesamiento sísmico. Para explicarlo tomaremos como ejemplo la sección G 604-E que pasa por la sección norte C-C' toma a los pozos proyectados Chio 1-X y San Alejandro 1-X.

Ejemplo Sección G 604-E

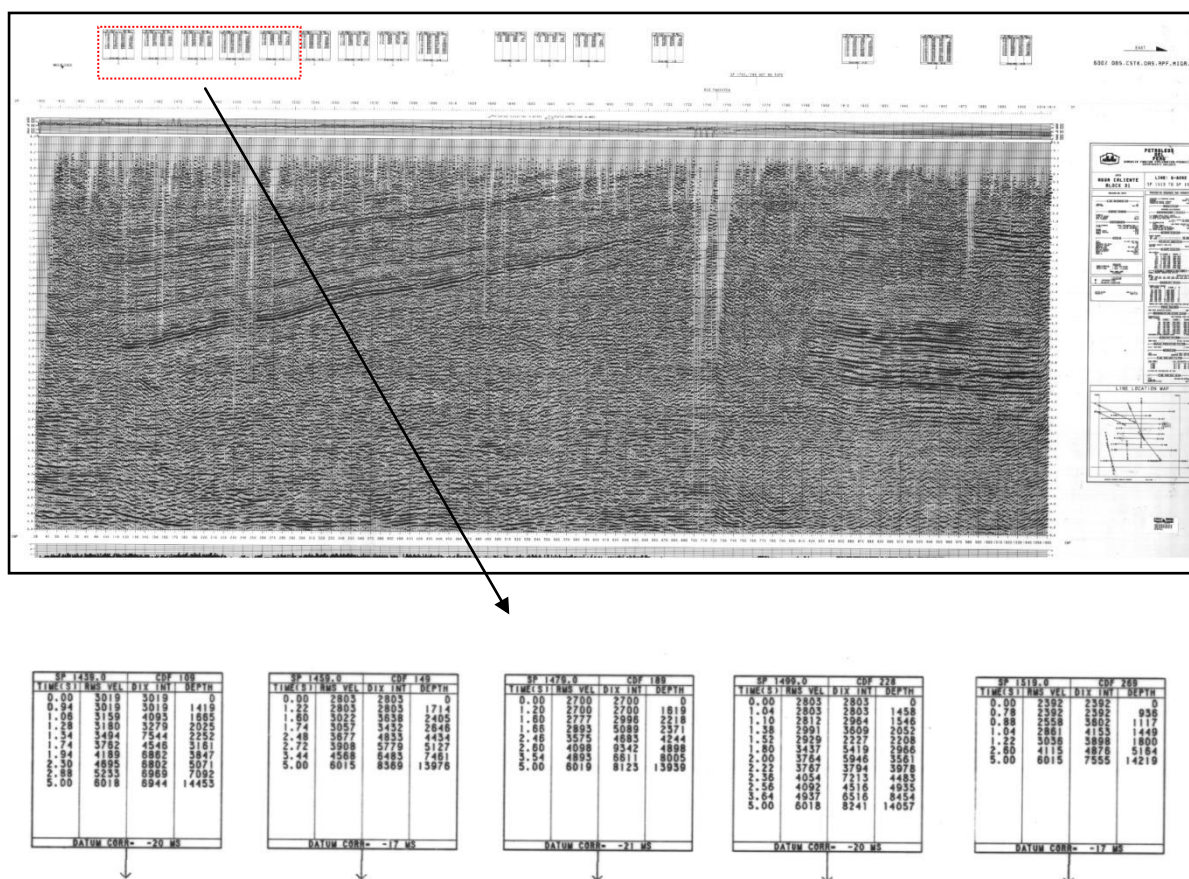


Figura 53: Muestra la sección sísmica G604-E en papel, con la presencia de datos de velocidad RMS en la parte superior junto con el tiempo.

Se ubicó la sección sísmica en papel, es posible observar en la parte superior de la Figura 53 las tablas de muestreo que consisten en valores de tiempo y velocidad RMS (raíz media cuadrática), los cuales fueron adquiridos y llevados a una tabla excel para el proceso de conversión.

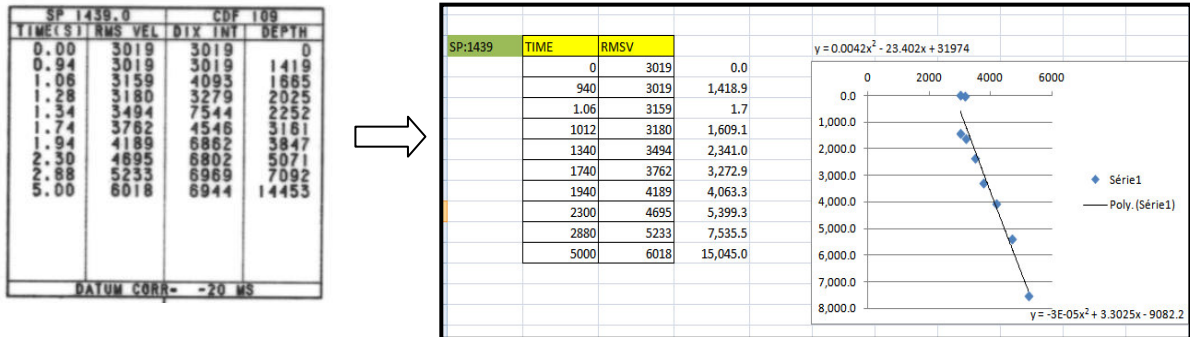


Figura 54: Valores de la sección sísmica en papel llevados a una tabla excel del cual se genera una gráfica Tiempo - Profundidad

Estos valores fueron llevados a una tabla y se generó una gráfica tiempo-profundidad que indica una ecuación lineal (Figura 54). Posteriormente se obtuvo los valores de V_0 (velocidad inicial) y V_f (velocidad final o de fondo) para el cálculo de la constante "k" (representa la división entre V_0 y V_f por cada muestreo). Estos valores fueron promediados e ingresados a la opción de conversión de tiempo-profundidad del MOVE. Donde ingresas el promedio de V_0 junto con el promedio de "k" por muestra y el datum de la sección sísmica (Figura 55).

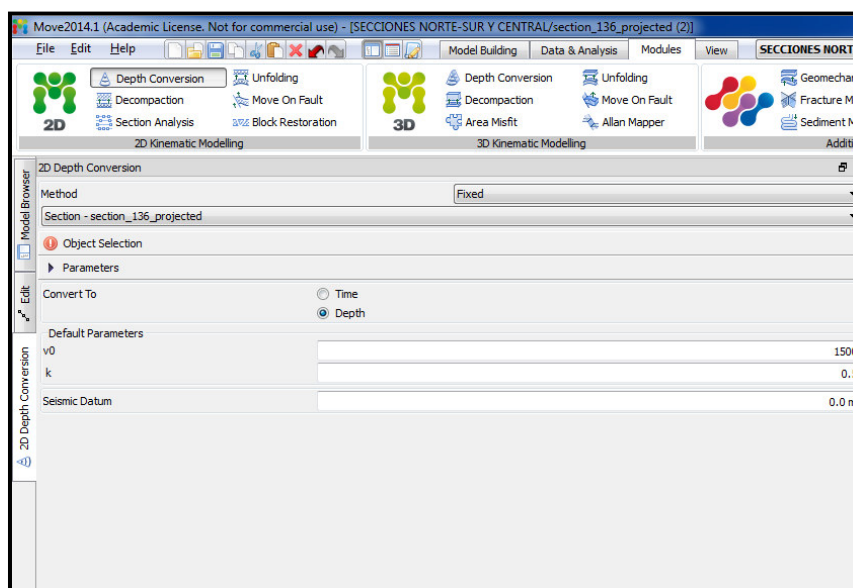


Figura 55: Tabla de conversión a profundidad del software MOVE

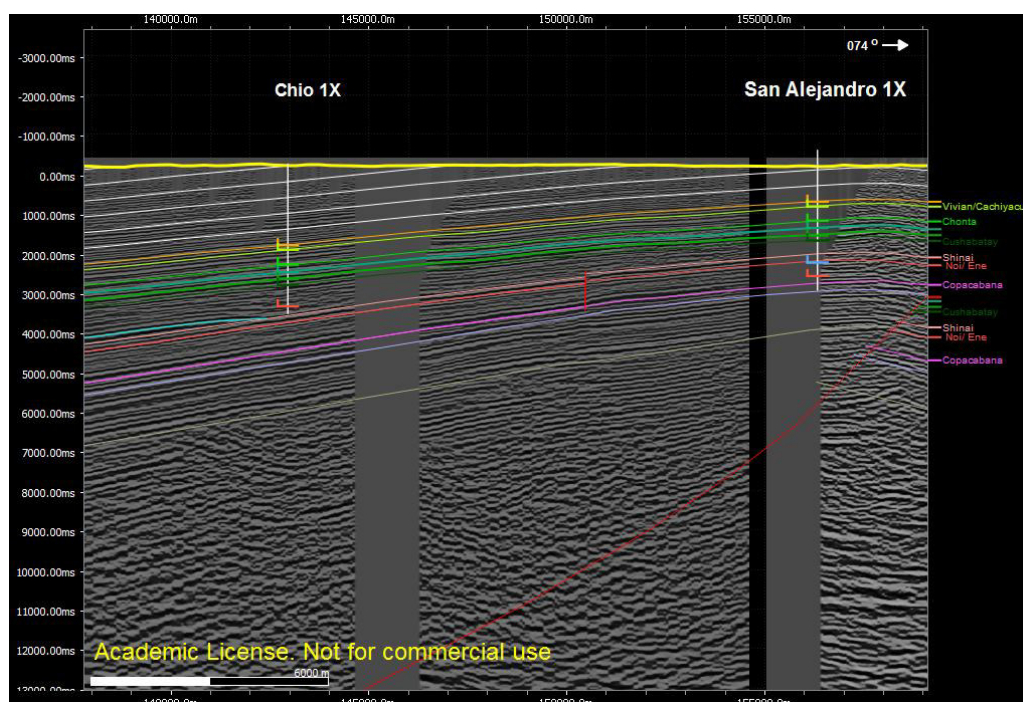


Figura 56: Sección sísmica G 604-E con la presencia de los pozos calibrados a la sísmica

El método puede ser comprobado a partir de la comparación con los reflectores relacionados con los pozos en tiempo producto de la generación de sismogramas sintéticos (Figura 56).

4.2. Secciones estructurales

Cuatro secciones estructurales han sido elaboradas con el software MOVE a lo largo de la sub-cuenca Pachitea, integrando datos de afloramientos, pozos perforados y secciones sísmicas (Figura 67).

Sección A-A'

Para la sección sur A-A' (Iscozacín- San Matías- Shira), se utilizó los datos de campo de Occidental (2003), Petrolífera (2008) y del cuadrángulo 20-n (Ingemmet, 1997). Estos a su vez son integrados junto con la información de la sísmica PP10707-30 y el pozo Oxapampa 7-1 X (Figura 57 y Figura 61)

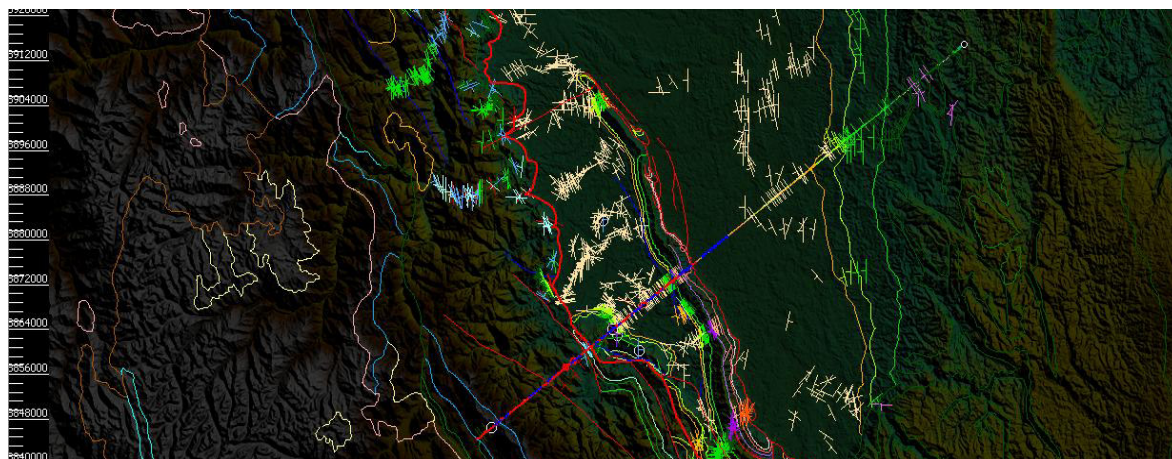


Figura 57: Ubicación y datos de la sección estructural sur (San Matías-Shira)

Sección B- B'

Para la sección centro B-B' (Codo de Pozuzo - Shira), se utilizó los datos de campo de Occidental (2003). Estos a su vez son integrados junto con la información de la sísmica PP10707-22 (Figura 58 y Figura 62).

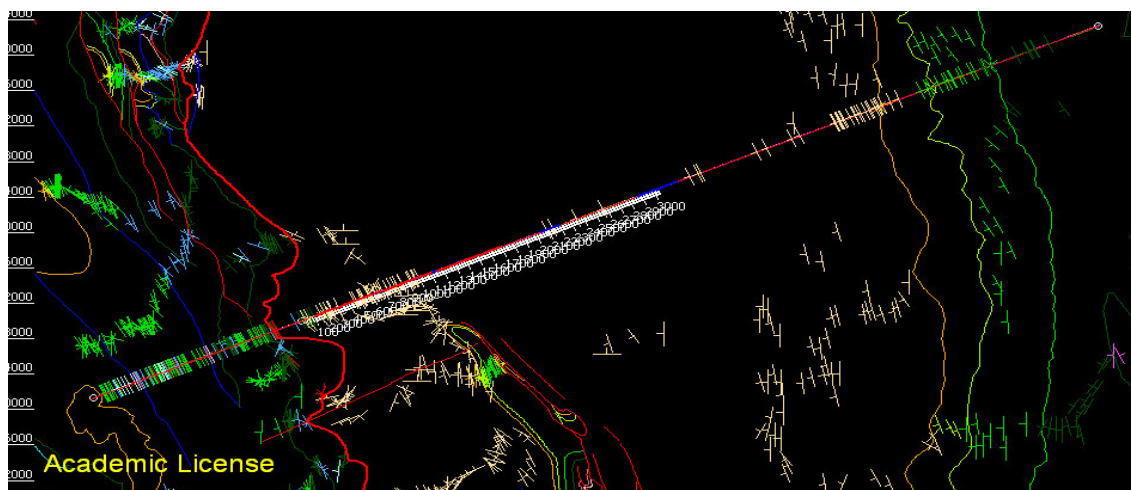


Figura 58: Ubicación y datos de la sección estructural central B-B' (Codo de Pozuzo - Shira).

Sección C - C'

Para la sección norte A- A' (Tingo María-Agua Caliente), se utilizó los datos de campo de Occidental (2003), Petrolífera (2008) e IRD (2013). Estos a su vez son integrados junto con la información de la sísmica PP10707-12, G35-604E Y G35-605 W, y con los pozos Chio 1-X, San Alejandro 1-X y Aguaytia 31-D (Figura 59 y Figura 63).

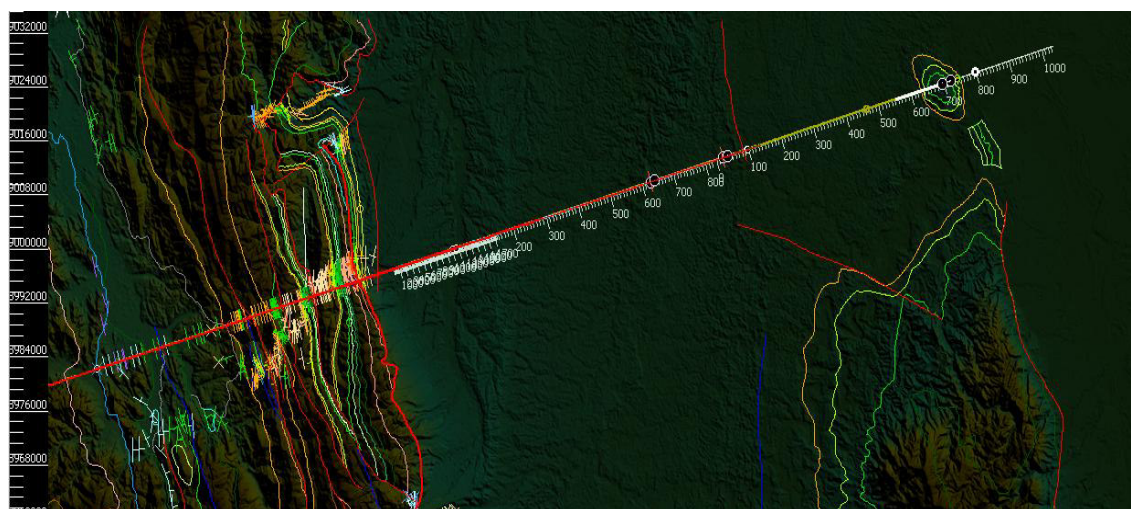


Figura 59: Ubicación y datos de la sección estructural norte (Tingo María-Agua Caliente)

Sección D-D'

Para la sección centro (Codo de Pozuzo), se utilizó la información de la sísmica de las secciones PP10707-31, PP10707-35 y PP10707-25 junto con los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 7-2 y Oxapampa 19-1 (Figura 60 y Figura 64).

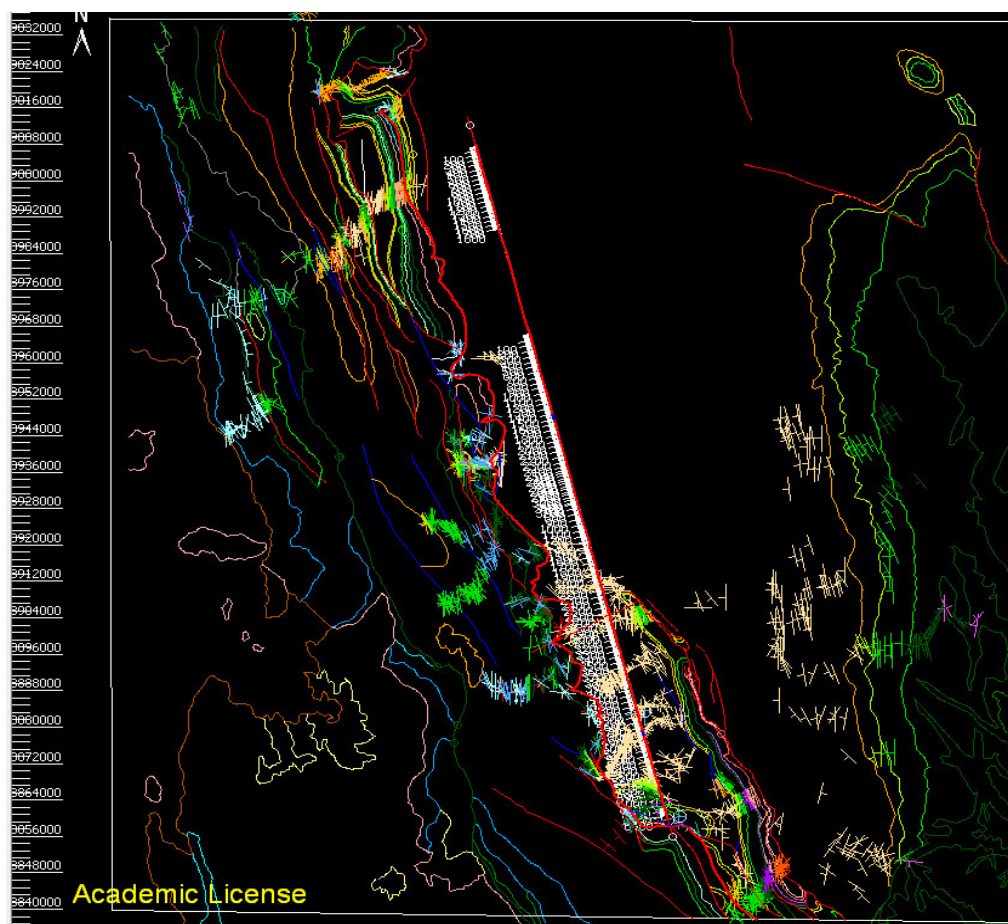


Figura 60: Ubicación y datos de la sección estructural norte- sur

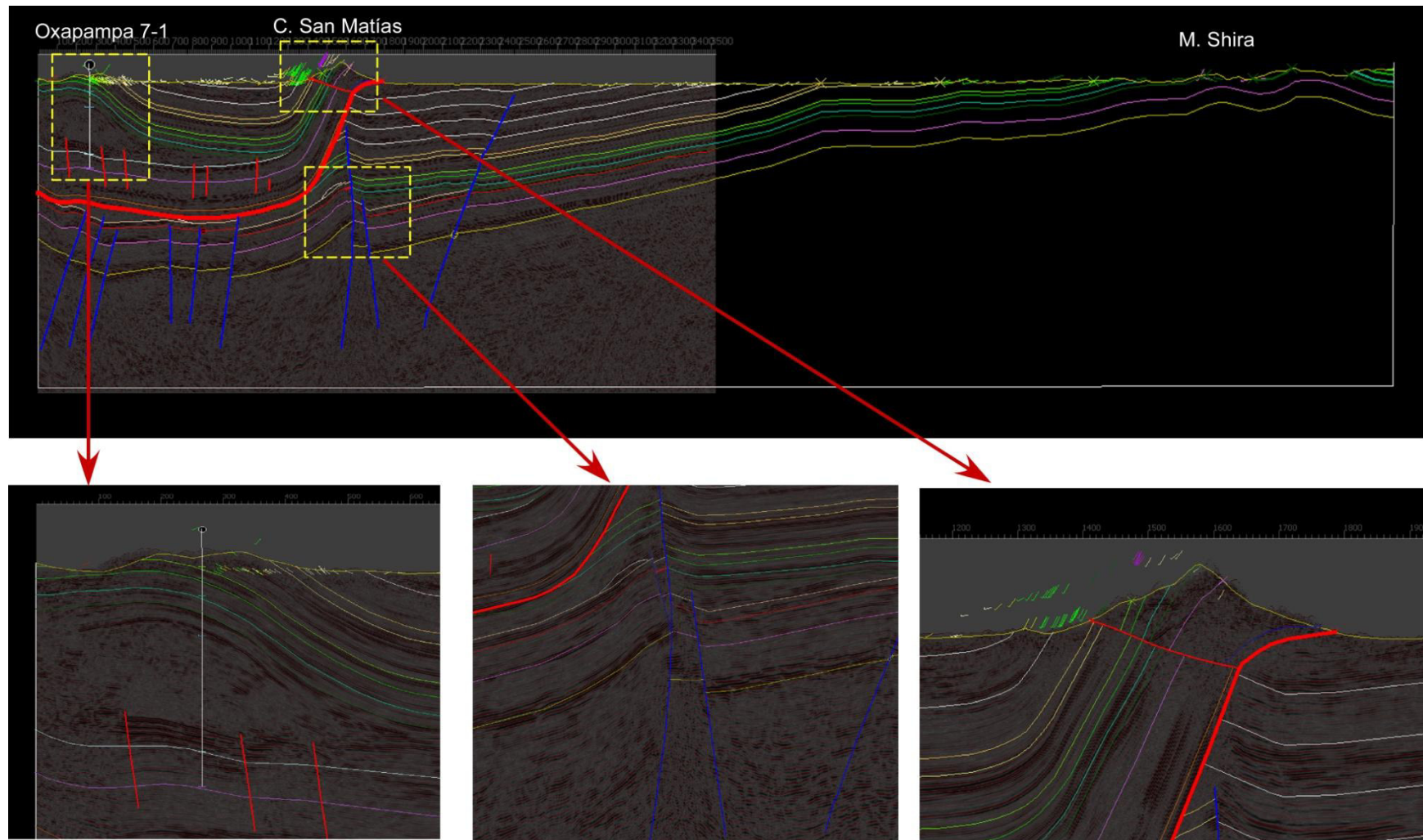


Figura 61: Sección estructural sur A-A' y calibración de datos que conforman la sísmica, los pozos y datos de superficie

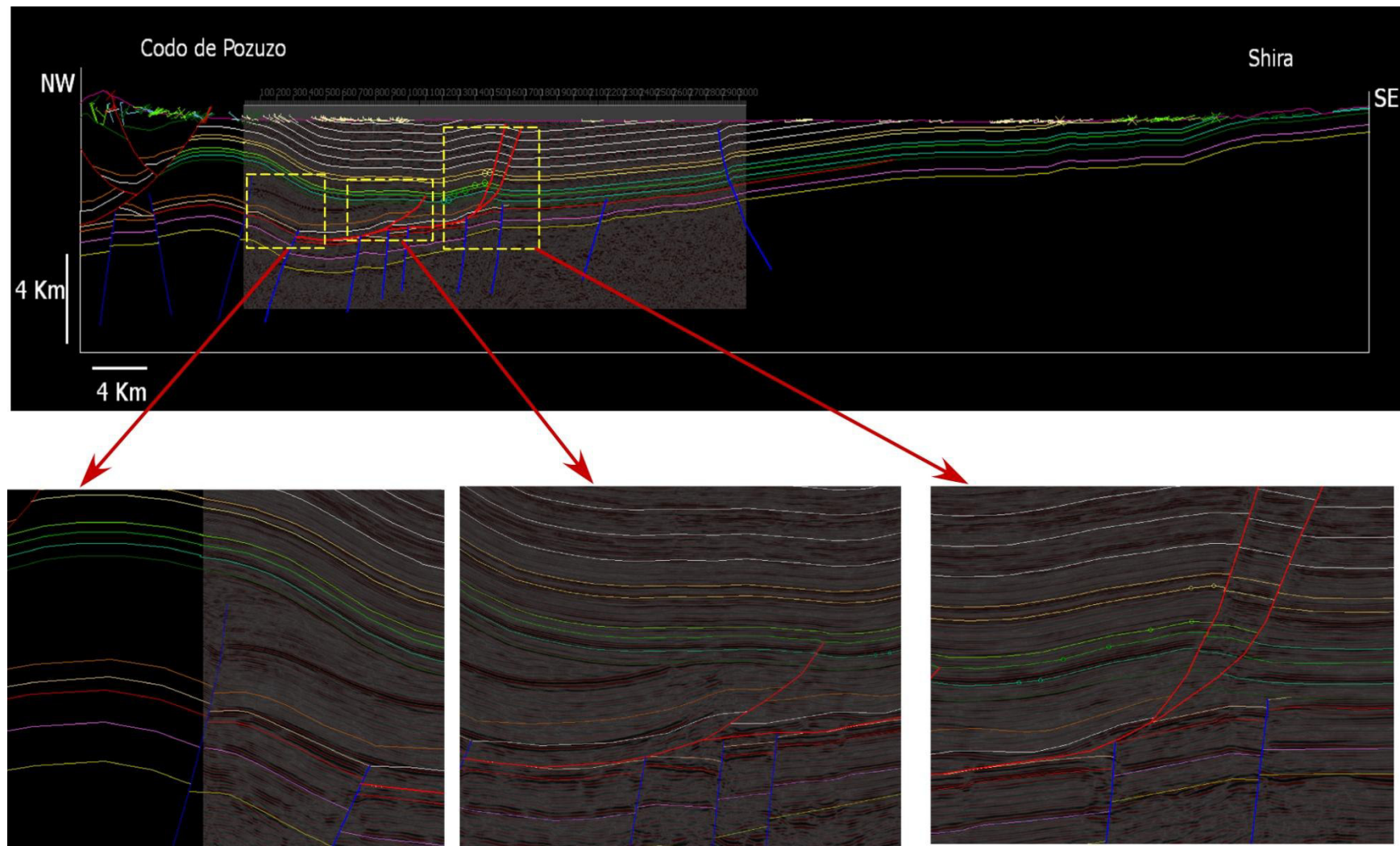


Figura 62: Sección estructural centro B-B' y calibración de datos que conforman la sísmica y datos de superficie

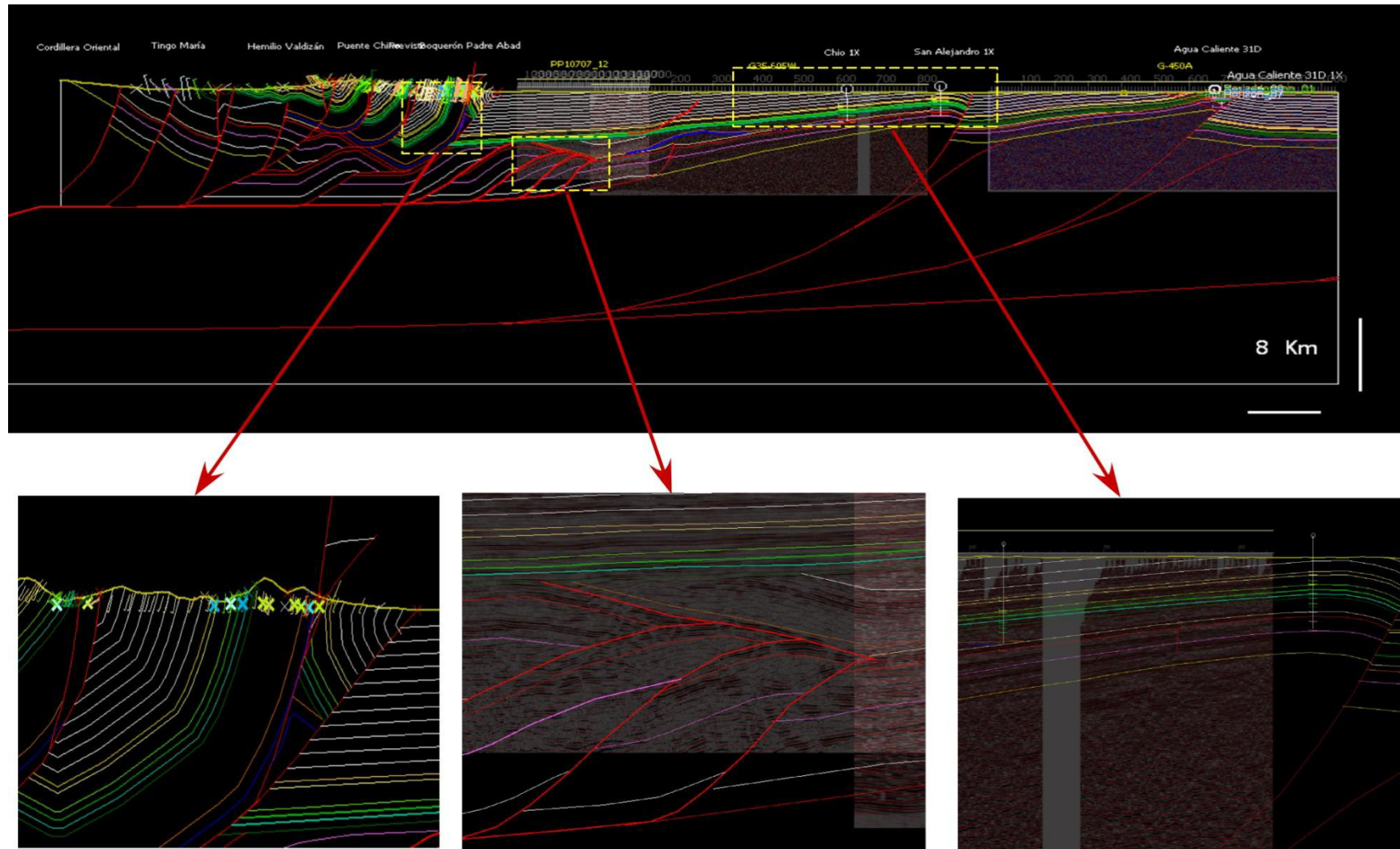


Figura 63: Sección estructural norte C-C' y calibración de datos que conforman la sísmica, los pozos y datos de superficie.

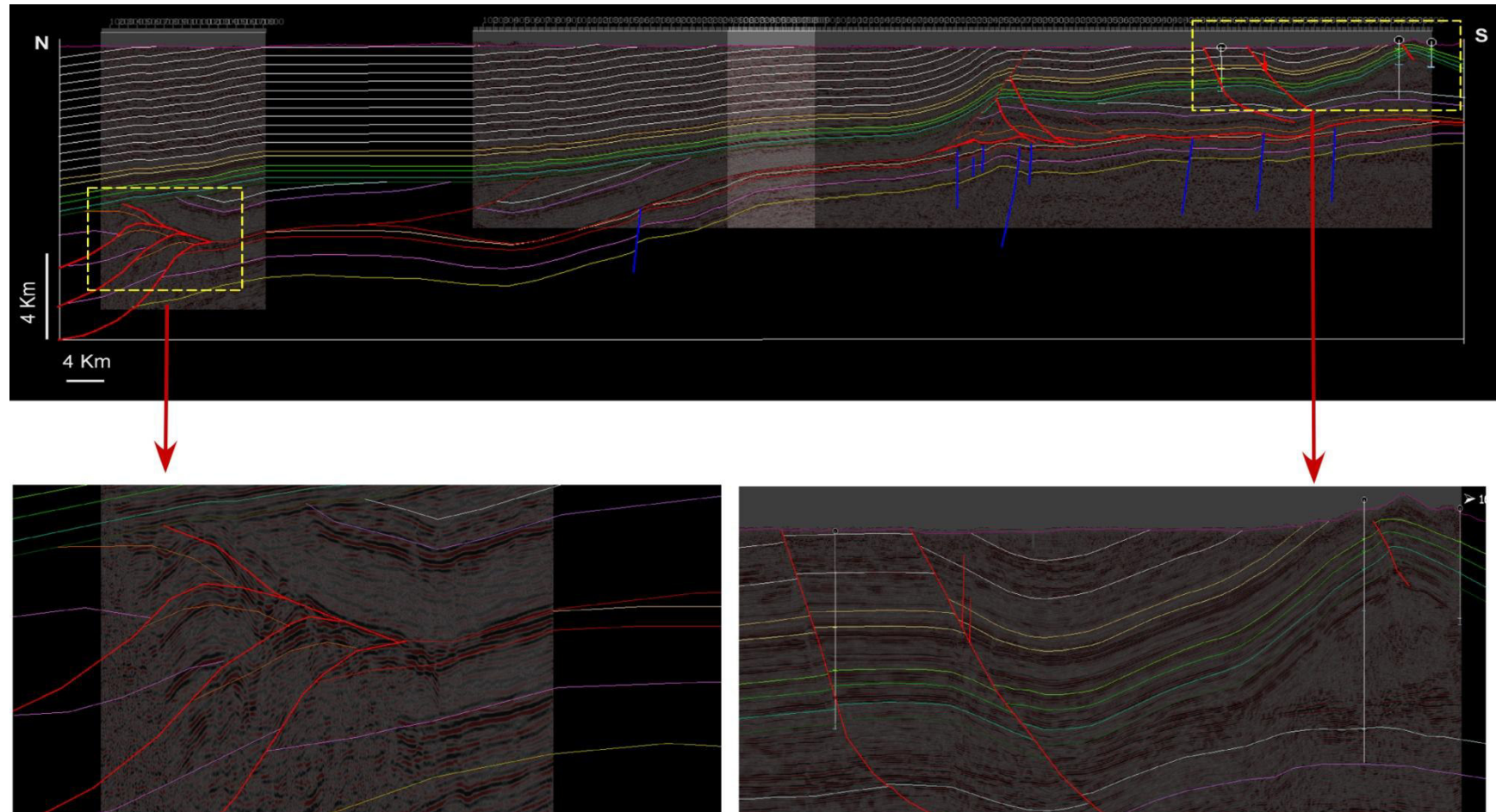


Figura 64: Sección estructural norte-sur D-D' y calibración de datos que conforman la sísmica, los pozos y datos de superficie

4.3.- Construcción de la sección balanceada

Se realizó la restauración de las secciones estructurales A-A', B-B' y C-C' (Figura 67) a un estado no deformado, asumiendo la interpretación analizada. Recurriendo a los principios teóricos del método de secciones balanceadas.

Existen en la actualidad una gran cantidad de modelos geométricos y cinemáticas para explicar el desarrollo de estructuras compresivas en la deformación, distinguiéndose dos lineamientos conceptuales bien definidos. Por un lado están los modelos en que las estructuras se representan esencialmente con geometrías curva y que pueden ser balanceados por área mediante métodos numéricos (Erslev 1986, 1991, Erslev y Rogers 1993, Allmendinger, 1998).

En el segundo tipo de modelos, las estructuras se representan generalmente simplificadas y con geometría kink (Narr y Suppe 1994, McConnell y Wilson 1993, McConnell 1994, Mitra y Mount 1998) y en los mismos se puede realizar gráficamente un balanceo por área y longitud de líneas (En M.Turienzo y L.V.Dimieri). Para nuestro trabajo, nos enfocaremos en el segundo método, para lo cual no modelaremos, si no, solo realizaremos balanceo por conservación de la longitud y de áreas.

4.3.1.- Generalidades sobre la técnica de sección balanceada

“Una reconstrucción palinspática (sección balanceada) tiene como objeto restituir la estructura al momento previo a la etapa de deformación que se está considerando, sea ésta compresiva o extensiva. Esto significa obtener la extensión y geometría original de la secuencia que se está estudiando. Su principal utilidad radica en que constituye una forma precisa de encontrar la distribución paleogeográfica de las diferentes secuencias o unidades litológicas que intervienen. Asimismo, mediante esta técnica se pueden calcular porcentajes de acortamiento o estiramiento de una secuencia, y combinándola con datos temporales se pueden computar velocidades de deformación.

Por otro lado, las técnicas palinspáticas constituyen un método esencial para chequear la viabilidad y posibilidad de una sección balanceada.” (E. Cristallini, 1988)

Existen 3 métodos de reconstrucción palinspática conocidos: reconstrucción por longitud de línea, reconstrucción por áreas y reconstrucción por métodos combinados. El primer método es el que veremos a continuación, siendo este el empleado en la sección C-C'. El segundo método es más complicado, pero sin duda más amplio ya que sirve para casos en que se mantiene constante el espesor de los bancos pero también para aquellos en los que no ocurre. Finalmente, el último método es la combinación de los dos anteriores y son de suma utilidad en sectores de fajas plegadas y falladas que involucran basamento y cuenca sedimentaria; en este tipo de balanceo se restituye la porción estratificada mediante longitud de líneas y el basamento por áreas.

4.3.2.- Reconstrucción por longitud de línea

Este tipo de reconstrucción palinspática se considera la premisa de que se conserva la longitud de línea y por ende el espesor de los bancos antes y después de la deformación.

Para realizar la reconstrucción de una secuencia deformada mediante este método se mide la longitud de cada uno de los bancos entre dos líneas fijas definidas arbitrariamente en ambos extremos de la sección. Dichas líneas se denominan *pin line*, y como se verá, en algunos casos es conveniente usar más de dos. La longitud de los bancos puede medirse mediante una regla o compás, mediante un curvímeter, mediante métodos digitales o utilizando papel de calcar con la secuencia dibujada. Este último método es uno de los más cómodos y comunes y se ilustra en la Figura 65. Para restituir, por ejemplo, una sección plegada y fallada como se muestra en la Figura 66 se dibuja en un papel transparente el bloque autóctono y se continúa a traza de los bancos hacia el retopáis una distancia de aproximadamente el doble de la sección a reconstruir. Posteriormente se va siguiendo a partir del *pin line* ubicado hacia el antepaís la longitud de cada línea, cada falla atravesada y cada corte con la topografía.

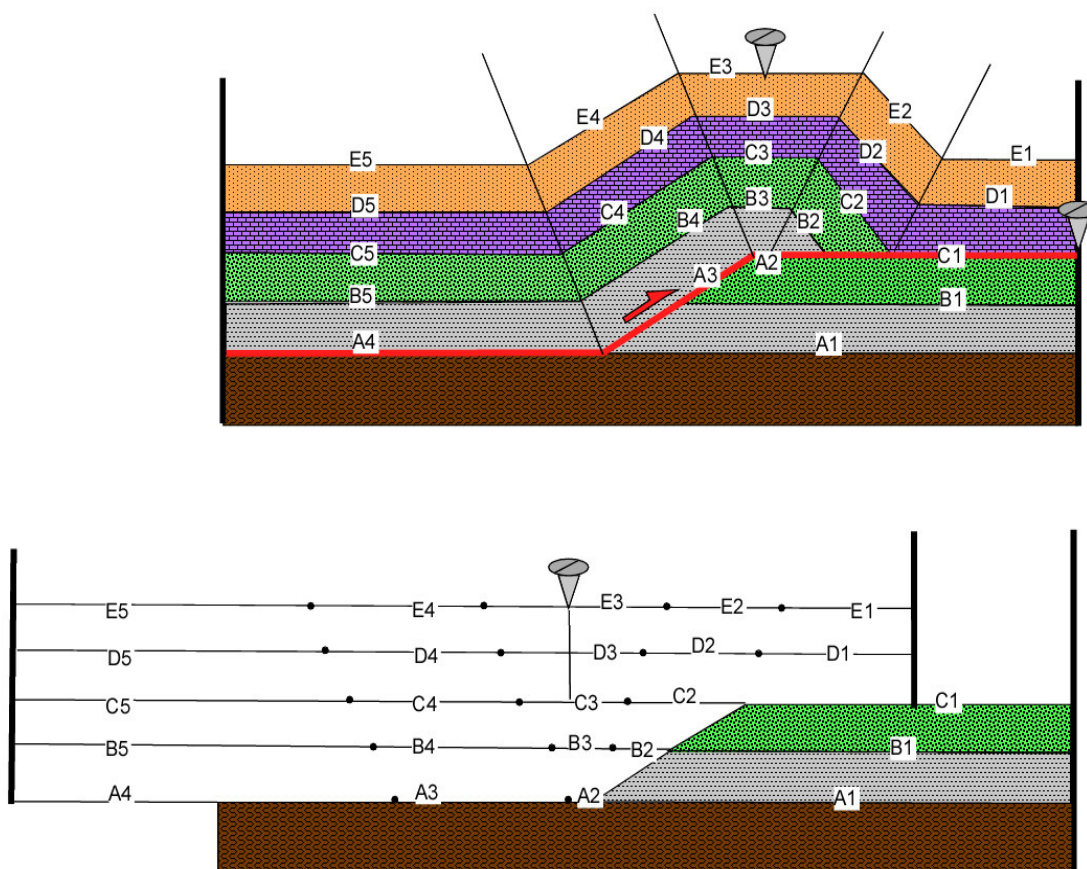


Figura 65.- Se ilustra el método de balanceo por longitud de líneas. Nótese que cada segmento está rotulado igual en sección y en la reconstrucción. Se usan dos *pin lines*, una para los bancos ubicados por debajo del nivel de despegue superior y otra para ubicarlos encima.

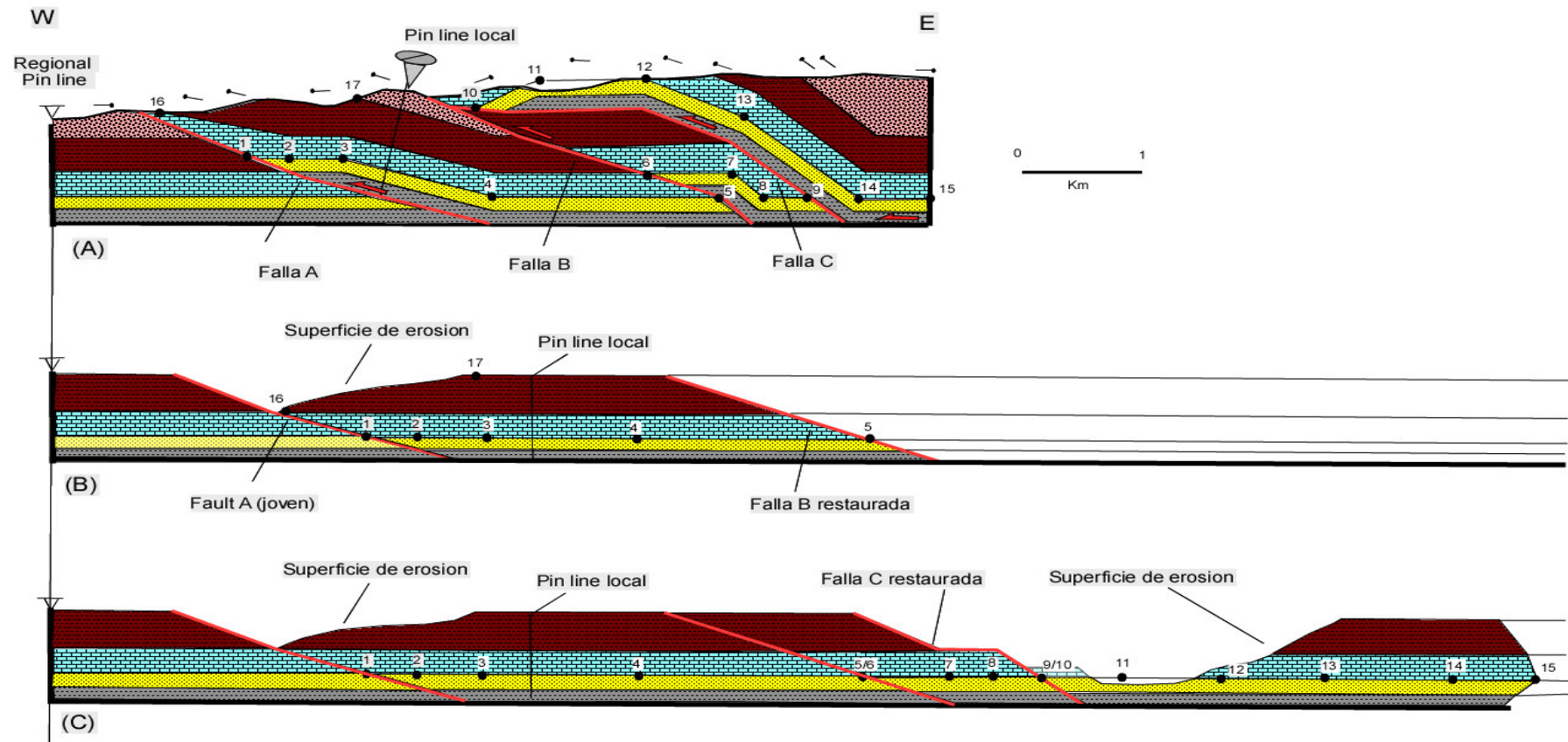


Figura 66.- Ejemplo de una reconstrucción por conservación de longitud mostrando las diferentes etapas de restitución. En la figura a) se muestra la sección deformada; en la parte izquierda y derecha de la misma se tienen dos líneas límites Pin Line y Loose Line, respectivamente ; la figura b) restauración de los niveles , como se observa los números 1,2,3... son las guías para la restitución. Figura c) muestra los niveles de erosión que son trasladados de la deformación.

4.3.3.- Secciones Balanceadas Sub-cuenca Pachitea

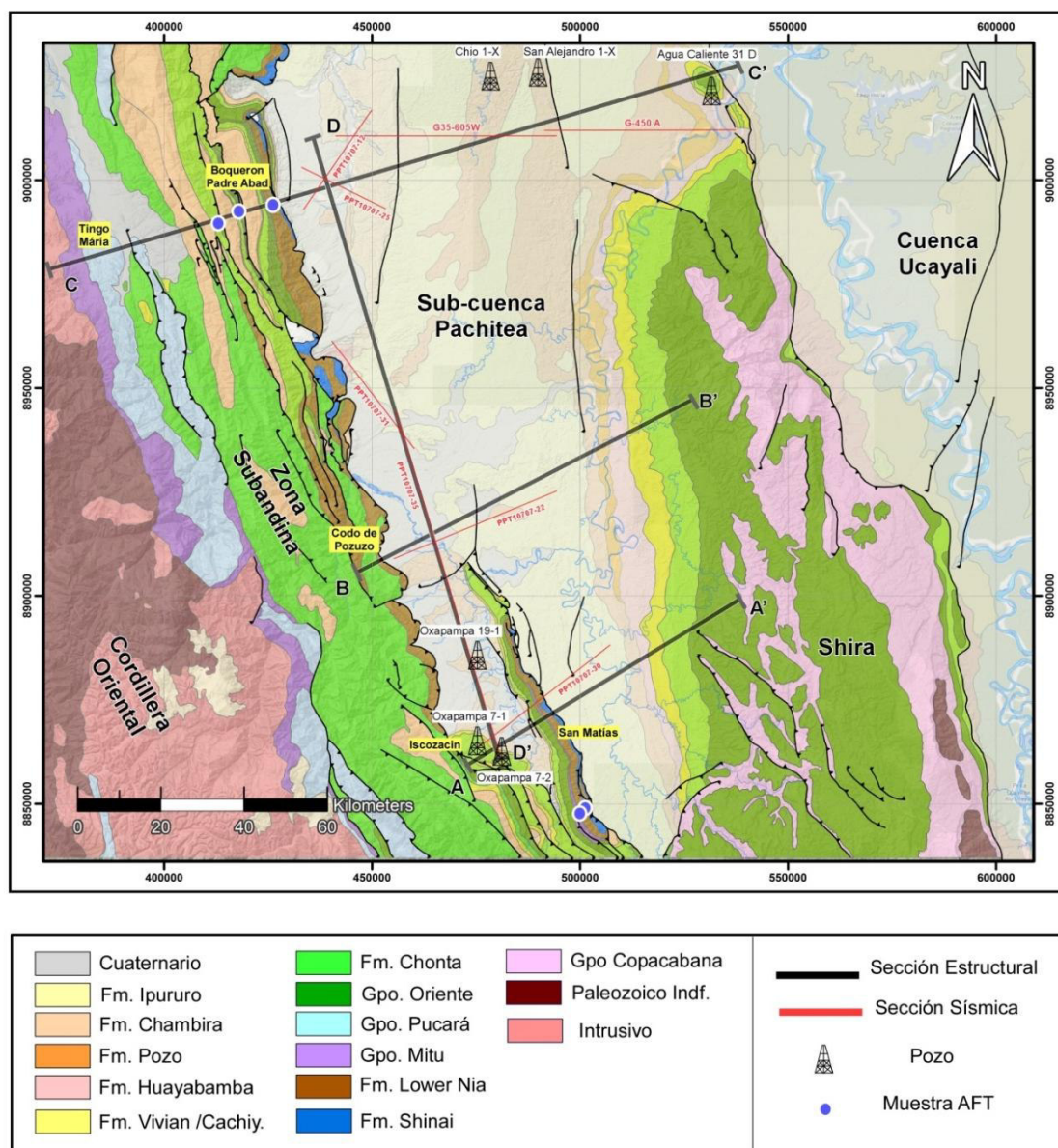


Figura 67: Mapa geológico integrado (IRD 2014) con la ubicación de las secciones estructurales y balanceadas a lo largo de la sub-cuenca Pachitea.

Sección A- A' (Oxapampa- San Matías- Shira)

Para la sección A-A', se utilizó los datos de campo de Occidental (2003), Petrolifera (2008) e Ingemmet (Cuadrángulo "20-n" Río Palcazu, 1997) integrados junto con la información de la sección sísmica PP10707-30 (Petrolífera) y el pozo Oxapampa 7-1 X (Figura 67).

La zona oriental de esta sección está conformada por las Montañas del Shira que representa un bloque de basamento levantado por una tectónica "thick-skinned" que se discutirá más adelante. El frente de corrimiento de San Matías constituye un frente de deformación de tipo "thin-skinned" con despegue basal que se propaga a la base de la Fm. Shinai o en las evaporitas subyacentes del Pérmico Terminal. El corrimiento de San Matías es de gran amplitud y transporta pasivamente las series triásicas y jurásicas deformadas por el diapiro de Oxapampa. El bloque bajo del corrimiento de San Matías está afectado por fallas inversas de basamento que corresponden a la inversión de fallas normales del rift del Pérmico Terminal-Jurásico Inferior. El inicio del rift está marcado por el depósito de las evaporitas pérmicas subyacentes a la Fm. Shinai. Su geometría está ilustrada por la reconstitución palinspástica de la sección balanceada (Figura 68). La sección balanceada muestra un acortamiento total de 10 Km concentrado esencialmente sobre el corrimiento de San Matías.

Por debajo de la Serranía de San Matías, existe aparentemente una inversión con estructura positiva.

Sección B- B' (Codo de Pozuzo - Shira)

Para la sección centro B-B' (Figura 69), se utilizó los datos de campo de Occidental (2003) y la sección sísmica PP10707-22.

El dispositivo estructural es comparable al de la sección A-A' (Figura 68), pero con menos acortamiento. El corrimiento frontal de San Matías se amortigua y constituye un pliegue por propagación de falla. Un poco más al oeste, la sísmica muestra un corrimiento erosionado y sellado por la base del Cretácico. Esta deformación compresiva corresponde a la deformación Jurua (ver diagrama Figura 52) descrita en Brasil (Caputo, 2014). En el borde occidental, emerge el corrimiento del Codo de Pozuzo que corresponde al nuevo frente subandino. Se conecta sobre el mismo despegue basal formado por las evaporitas pérmicas. En el bloque bajo, se puede apreciar una importante antiforma resultando de la inversión de fallas del rift permo-triásico.

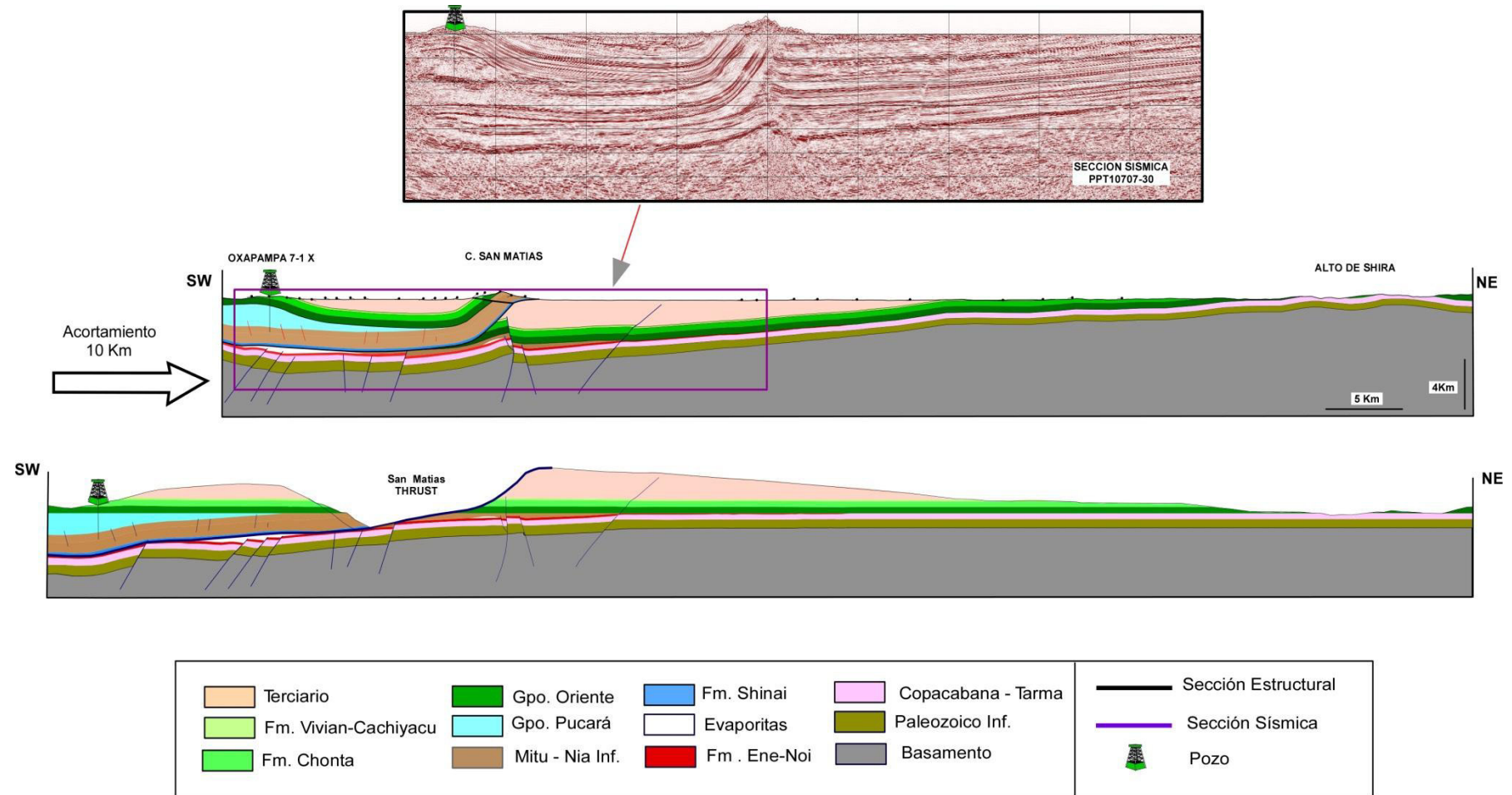


Figura 68: Sección estructural balanceada A-A' pasando por la Serranía San Matías y el diapiro de Oxapampa (ubicación en la Figura 66)

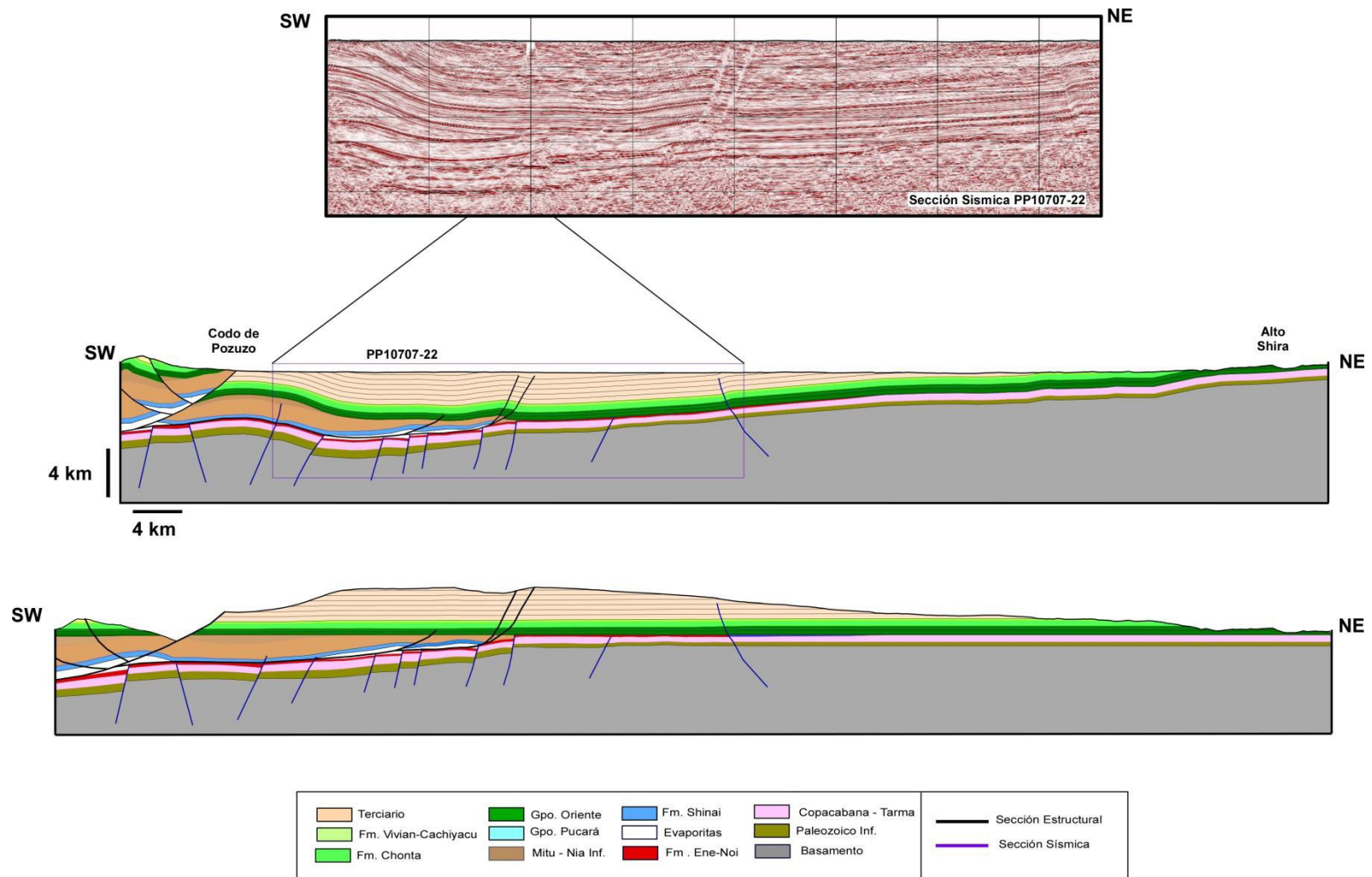


Figura 69: Sección estructural balanceada B-B' pasando por el Codo Pozuzo y el Alto Shira (ubicación en la Figura 66).

Sección C- C' (Tingo María-Boquerón Padre Abad - Agua Caliente)

Para la sección norte C- C' (Figura 67), se utilizó los datos de campo de Occidental (2003), Petrolífera (2008) e IRD (2013), las secciones sísmica PP10707-12, G35-604E Y G35-605 W, y los pozos Chio 1-X, San Alejandro 1-X y Aguaytia 31-D.

La sección C-C (Figura 69) es la sección más importante de este trabajo. Es una sección regional que va desde el hundimiento norte del Shira hasta la Cordillera Oriental. Al este, el frente de corrimiento del Shira corresponde a la estructura Agua Caliente. Más al oeste, el mismo tipo de corrimiento de basamento genera la estructura San Alejandro. Este sistema “thick-skinned” se conecta sobre un despegue ubicado a 24 km de profundidad buzando hacia el oeste por debajo de la subcuenca Pachitea. En la parte occidental, la zona subandina está deformada por imbricaciones que se conectan sobre el despegue del Pérmico Terminal (base Shinai y evaporitas), que constituye el techo de un dúplex profundo de Paleozoico. Parte de este dúplex ya existía antes del Cretácico Superior como lo muestra la sísmica (Figura 70) en el bloque bajo del corrimiento frontal subandino (Boquerón Padre Abad). De hecho, esta sección sísmica muestra un dúplex (antiformal stack) erosionado y sellado por los depósitos de la Fm. Cushabatay. Este dúplex parece haber jugado un papel importante en la propagación del frente subandino actual. La Cordillera Oriental (Tingo Maria) corresponde a la inversión del rift permo-triásico y forma el “backstop” que transmite el acortamiento a la zona subandina.

Este dispositivo de inversión de rift está bien ilustrado por la sección balanceada (Figura 70). El estado intermedio muestra que la propagación del sistema de corrimientos empezó antes del Cretácico Superior (12 km de acortamiento). La sección muestra actualmente un acortamiento total de 52 kilómetros. Este acortamiento se comparte verticalmente: 45 Km se acomoda en la zona subandina y 7 Km es transferido en el sistema de corrimientos profundos de San Alejandro y Agua Caliente (thick-skinned tectonics).

Sección D-D' (Boquerón Padre Abad - Iscozacín)

Para la sección norte- sur D- D' (Figura 66), se utilizó la información de la sísmica de las secciones PP10707-31, PP10707-35 y PP10707-25 junto con los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 7-2 y Oxapampa 19-1.

Esta sección estructural (Figura 71) ilustra la geometría de las secuencias pre-cretácicas y sus relaciones con la deformación subandina. Se nota claramente el despegue regional asociado a las evaporitas que se han depositada con la abertura del rift permo-triásico, y que se encuentran entre la Formación Shinai y la Formación Ene. Los colchones de esas evaporitas son bien nítidos en profundidad bajo los pozos de Oxapampa que atravesaron las evaporitas superiores de los grupos Pucara y Mitú (ver también Figura 45). El bloque de Iscozacín está limitado al oeste de los pozos Oxapampa por una rampa lateral. Se puede apreciar también la deformación del sistema de corrimientos sellada por el Cretácico Superior.

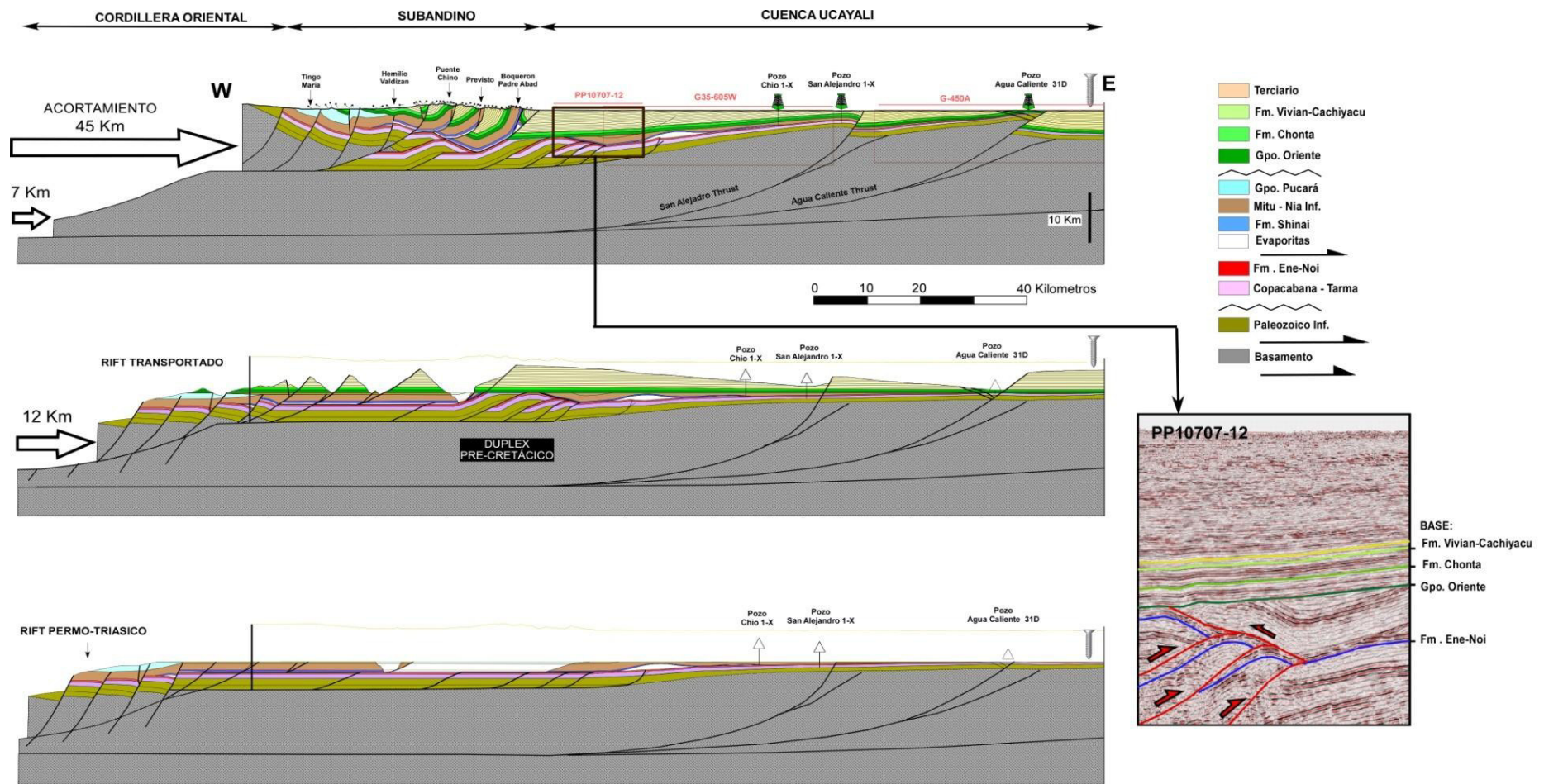


Figura 70: Sección estructural balanceada C-C' pasando por el Boquerón Padre de Abad y las estructuras San Alejandro y Agua Caliente (ubicación en la Figura 66). El estado intermedio representa el estado de deformación durante el Cretácico Superior.

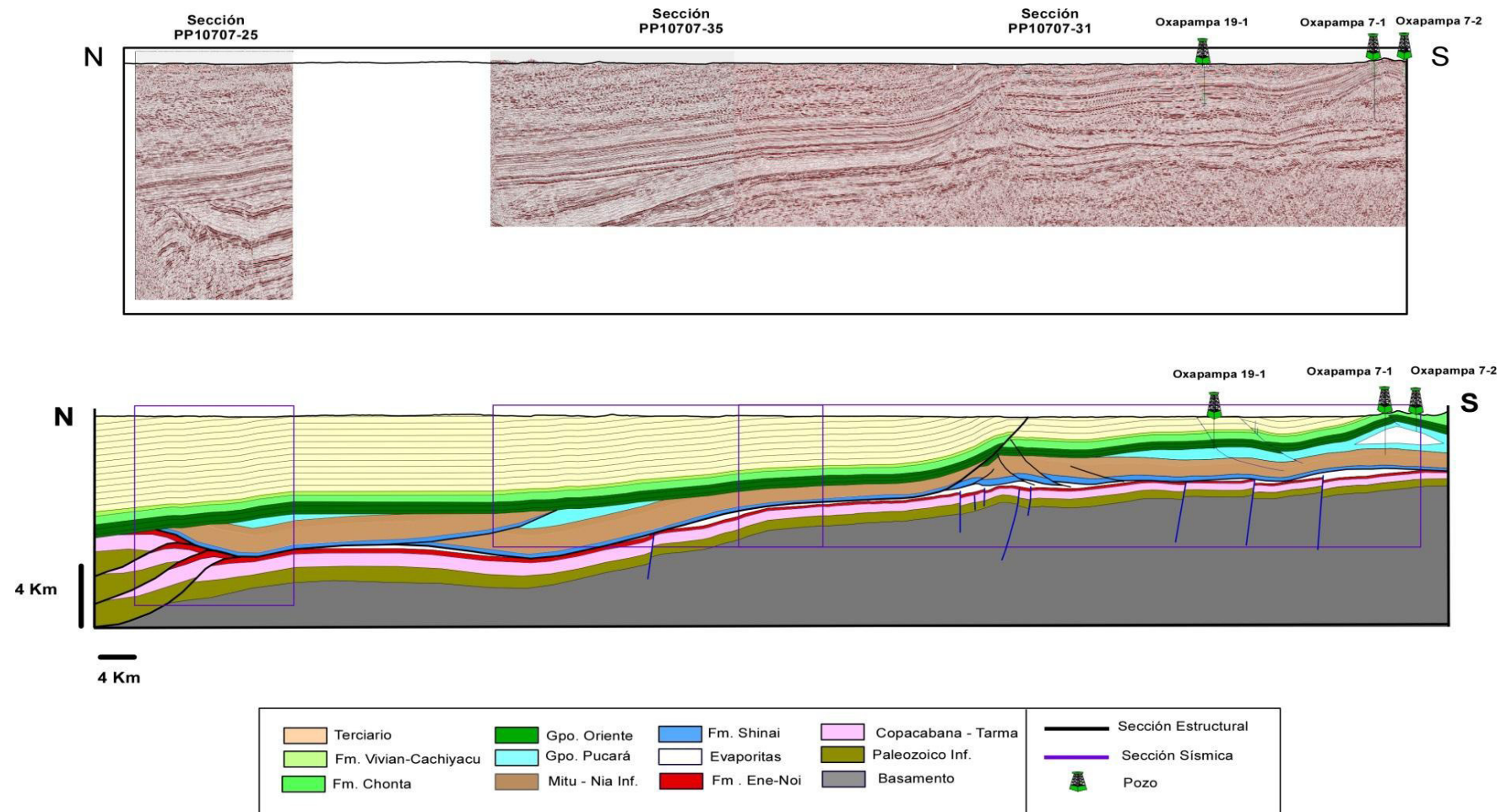


Figura 71: Sección estructural norte-sur D-D' cruzando la sub-cuenca Pachitea desde Oxapampa hasta el Boquerón Padre de Abad (ubicación en la Figura 66)

4.4.- Análisis Estructural

Sección San Matías

Como se menciono anteriormente que la Cordillera de San Matías constituye un frente de deformación de tipo "thin-skinned" con despegue basal en la formación Shinai del Pérmico terminal (Figura 68). La longitud de la C. San Matías es de 75 km de largo con la particularidad de presentar una exposición de núcleo pre-cretácico hacia la zona sur conformado por el grupo Mitu, la formación Nia Inferior y la formación Shinai. Las secciones sísmicas obtenidas de la campaña de Petrolífera (2008-2009) muestran no solo una estructura de corrimiento ligado a esta compresión del mismo modo es posible observar estructuras producto de la inversión del sistema de rift permo-triásico (Figura 72).

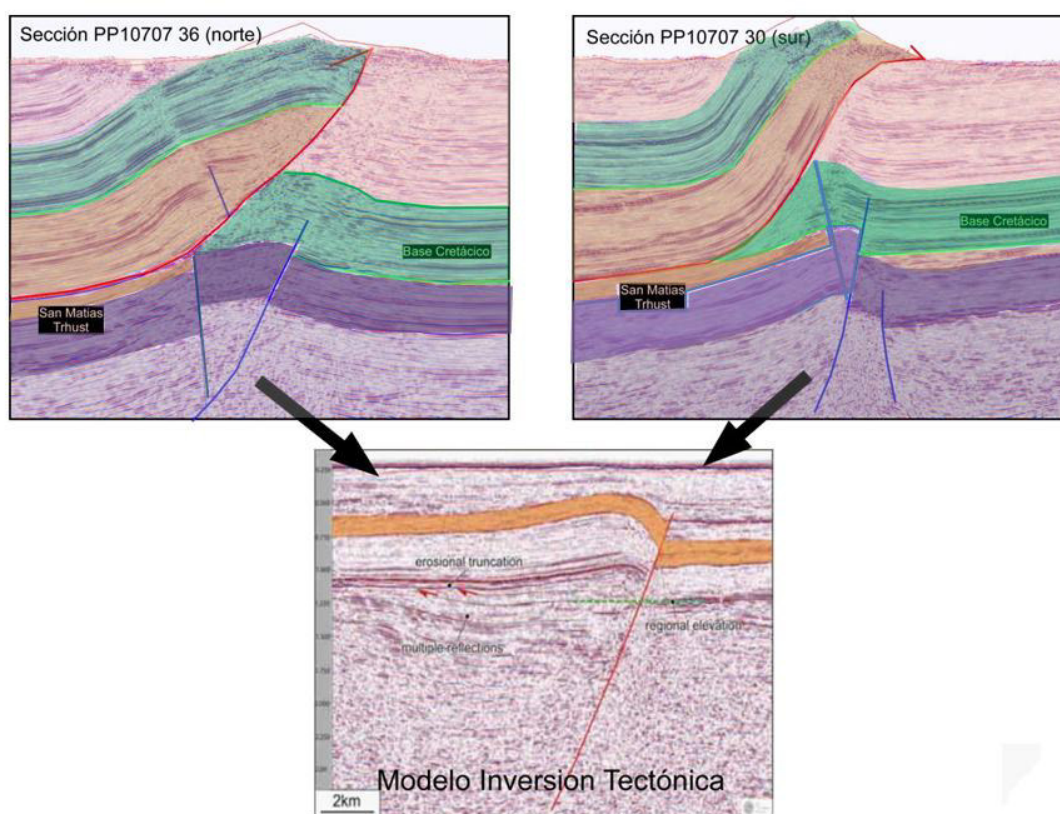


Figura 72: Estructura de inversión tectónica yace debajo del corrimiento de San Matías

Como se aprecia el sistema de rift encuentra su límite este en San Matías esto marca muchas incógnitas con respecto al tipo de estructura que se presenta. La tesis de Allcca (2006) indica un acortamiento de 30 km para San Matías, lo cual cambia para el presente trabajo con un acortamiento promedio de 10 km hacia la zona central siendo variable de sur a norte. Con el fin de entender el sistema de acortamiento asociado a un corrimiento se experimento con un modelo 3D a partir de la elaboración de superficies con la integración de horizontes de las secciones sísmicas (Figura 73).

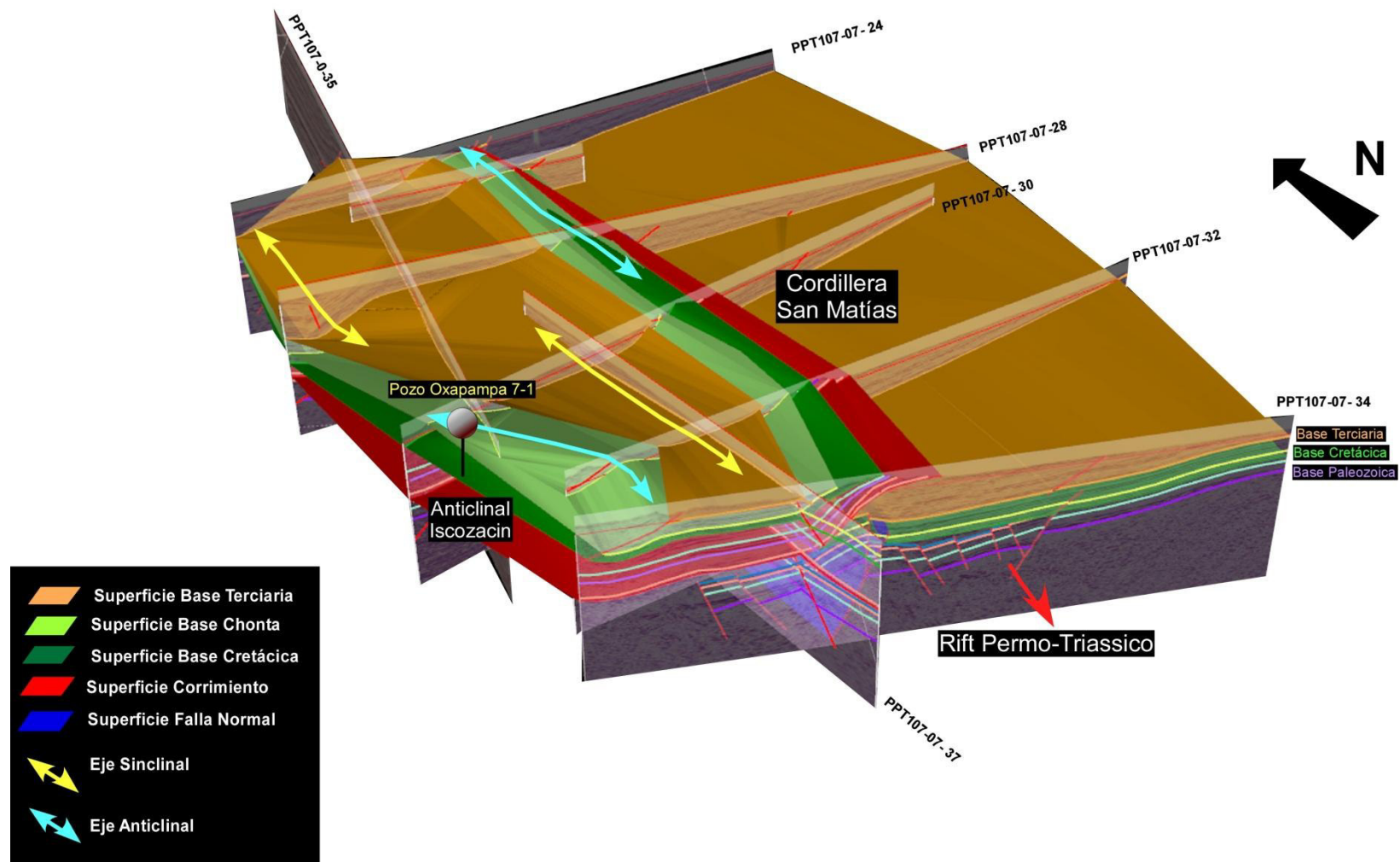


Figura 73: Modelo 3D de superficies de la Cordillera de San Matías a partir de las secciones sísmicas (Campaña Petrolífera).

Tomando como base este modelo 3D y se realizó un prototipo de balanceo mostrando 13 km de acortamiento promedio para San Matías siendo este evidenciado por un espacio de 8 km para la sección norte donde se obtuvo 5 km de acortamiento (Figura 76) lo que indica que el acortamiento de San Matías es variable de sur a norte (Figura 74 y Figura 75) para ello se estima que acortamiento varía 1 km por cada 7,5 km de longitud de San Matías produciendo que hacia la zona sur pueda exponer las unidades pre-cretácicas a diferencia que la zona norte.

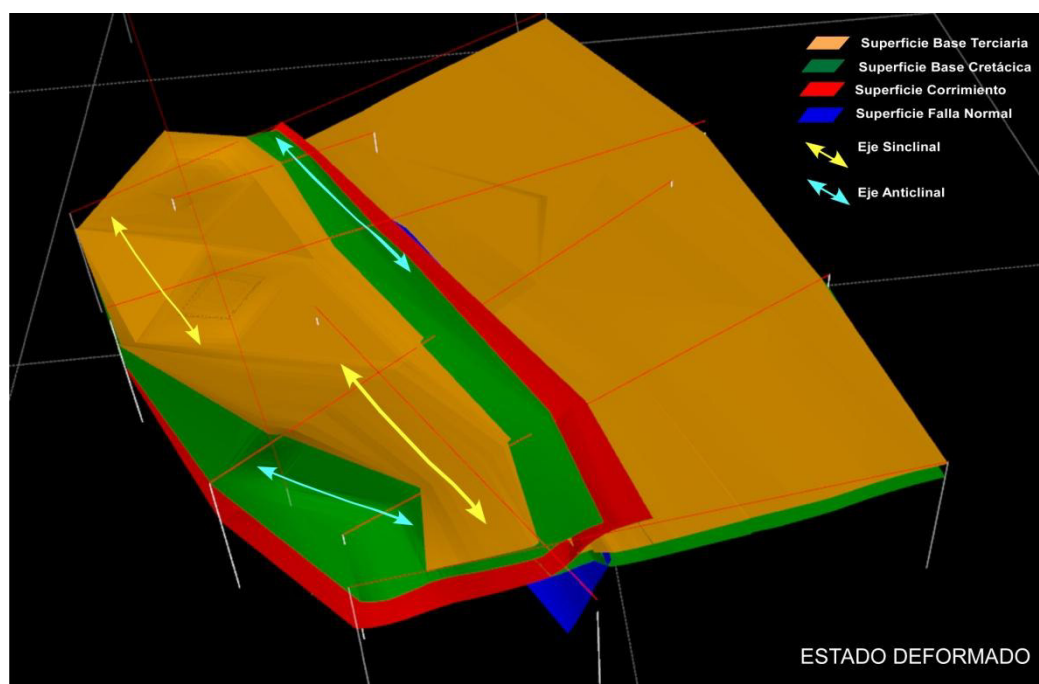


Figura 74: Modelo 3D estructura de San Matías (estado actual)

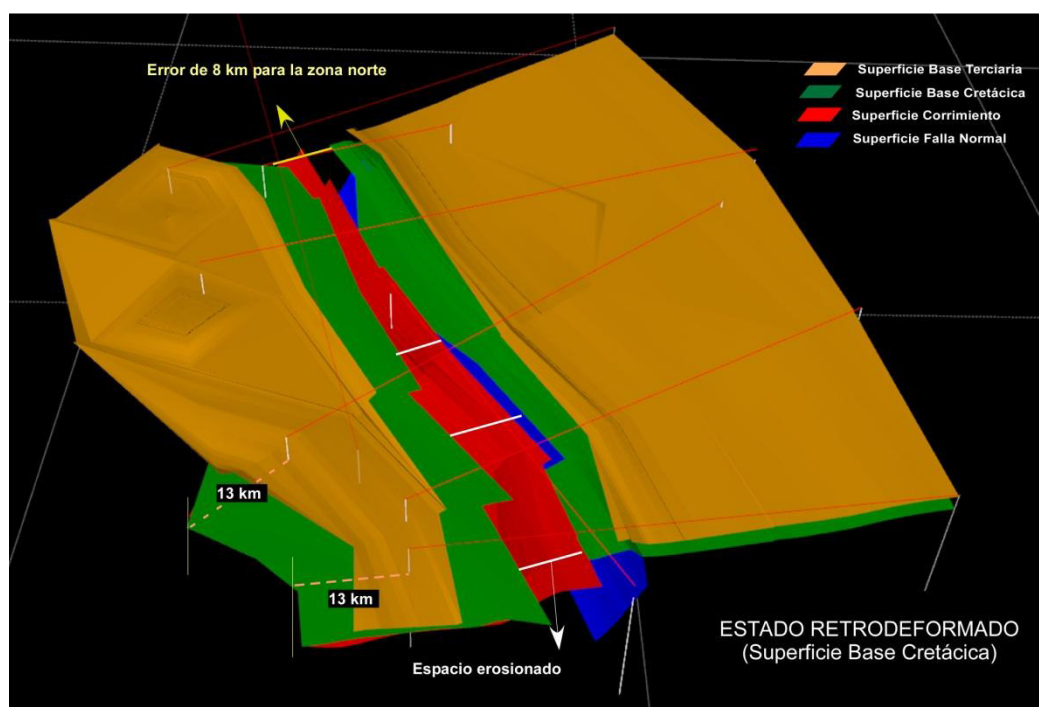


Figura 75: Modelo 3D estructura de San Matías (estado retrodeformado al nivel base cretácica).

Para poder comprender el sistema de deformación de San Matías junto con la variación de acortamiento se propuso un modelo de tectónica de piel delgada ligada a dos niveles de despegue (Figura 76) uno ya determinado en la formación Shinai (evaporitas) y el otro nivel puede asociarse a unidades que conforman el Paleozoico inferior como el Grupo Ambo o Cabanillas que son potenciales niveles de despegue similar a la sección norte C- C' (Figura 70). Lo que se propone es que el acortamiento varía debido a que la estructura profunda que transfiere el acortamiento a San Matías se atenúa con dirección al norte esto se produce posterior a un evento inicial de inversión tectónica que afecta a los bloques del Rift Permo-Triásico y puede dar inicio a finales del Cretácico con la presencia de discordancia progresiva en la Formación Vivian como se ve en la sección Río Palcazú (Figura 31).

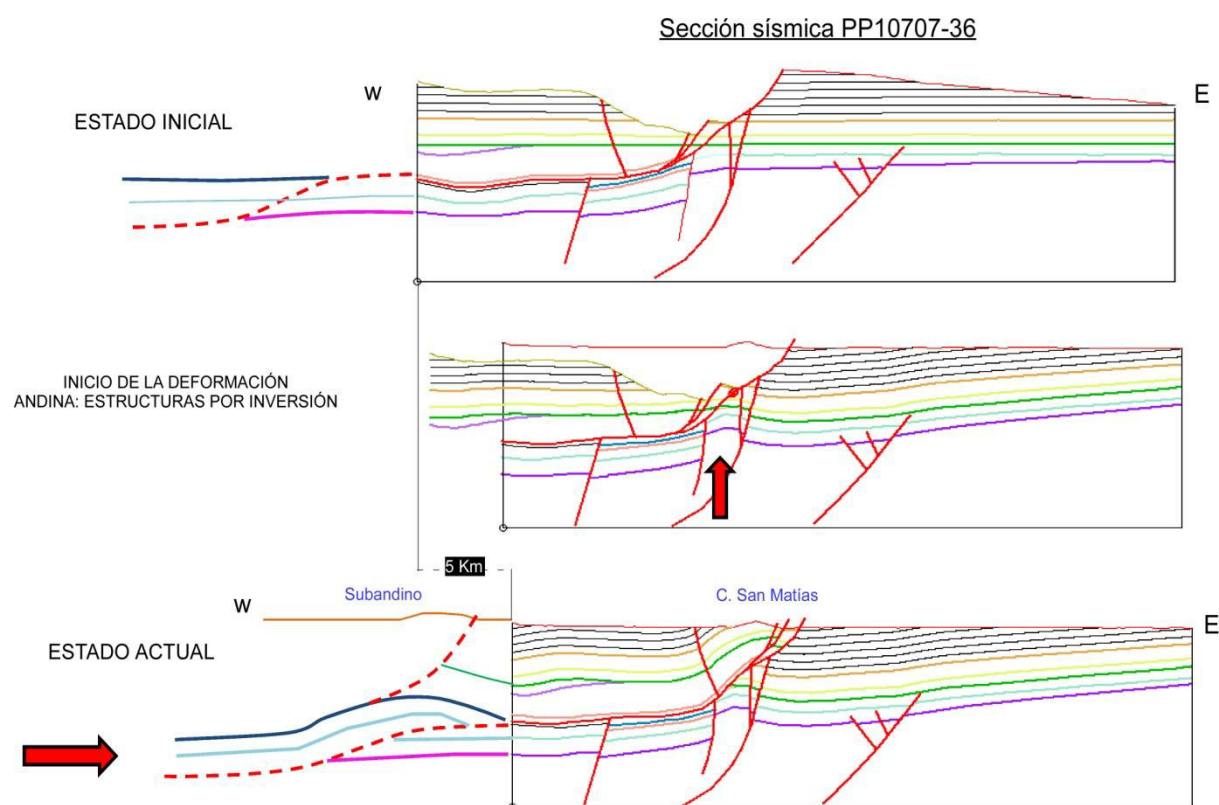


Figura 76: Modelo de deformación para San Matías, sección sísmica PP1070736

Sección Boquerón Padre Abad

La sección Boquerón del Padre Abad hace referencia a la sección C-C' (Figura 70), la cual presenta un sistema "thin skinned" para la zona subandina con despegue en la Formación Shinai (evaporitas) junto con un sistema "thick skinned" hacia el antepais con un despegue profundo (Basamento) a 24 km que genera las estructuras San Alejandro y Agua Caliente. El sistema de imbrincaciones en la zona subandina descansa sobre un dúplex (antiformal stack) con características de haberse generado previo a la depositación de unidades Cretácicas y asociado posiblemente a la tectónica Jurua ya estudiada por autores como Bump y Caputo mencionada en el capítulo anterior (ver Capítulo III). Parte de este análisis muestra las evidencias que ayudaron a realizar una nueva propuesta de sección estructural.

Hacia la zona subandina se realizó la transecta Tingo María - Aguaytia (IRD 2013), con el motivo de reconocer la estratigrafía y adquirir datos estructurales que complementen las labores ya realizadas por Occidental (2003) y Petrolífera (2009). El resultado muestra un sistema de 3 corrimientos principales (Boquerón, Previsto, Puente Chino) que fue descrito en las secciones de Occidental y Petrolífera (Figura 77) con un nivel de despegue Pre-Cretácico ligado a las calizas negras basales que se solo se exponen en la escama del Boquerón Padre Abad. Del mismo modo en la sección de campo elaborada por el IRD-2014 (Figura 78) menciona el mismo sistema de corrimientos asociado a la nueva propuesta estratigráfica presentada en la columna Boquerón (Figura 29).

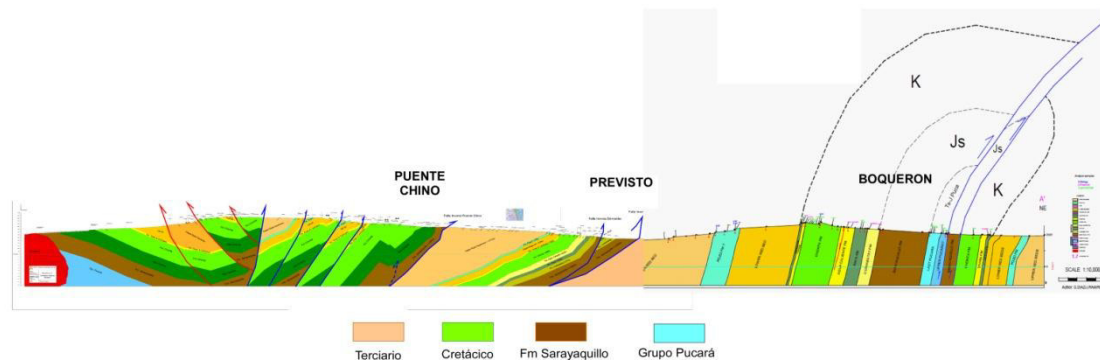


Figura 77: Sección Geológica compuesta transecta Tingo María- Aguaytia de Petrolífera(2009) y Occidenta (2003).

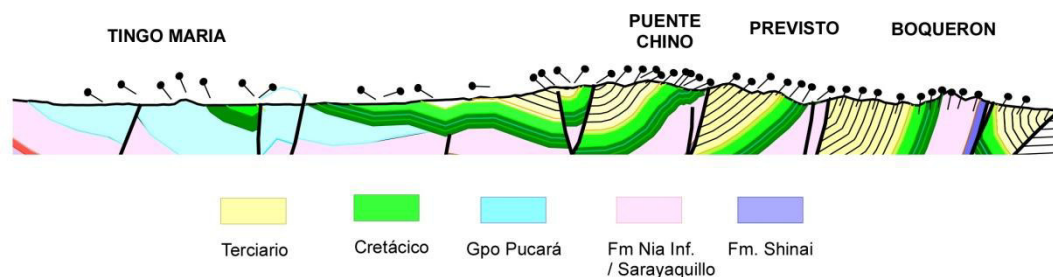


Figura 78: Sección Geológica compuesta transecta Tingo María- Aguaytia elaborada por IRD (2014)

La particularidad de esta sección muestra que la escama Boquerón presenta una fuerte inclinación de sus unidades estratigráficas a diferencia de las escamas traseras esto fue analizado lateralmente usando la imagen DEM y los datos estructurales recopilados. La sección Boquerón representa el flanco oeste del anticlinal que genera la falla frontal subandina , del mismo modo la sección Cachiyacu realizada por Occidental (2003) representa el flanco este del mismo anticlinal y evidencia la presencia de un domo de sal (Figura 79) la cual confirma que el nivel de despegue se encuentra relacionado a esta unidad como se describió en los capítulos anteriores.

Como resultado la propuesta para esta escama fue diseñada a partir del modelo geométrico de un pliegue por propagación de falla con despegue evaporítico (similar al anticlinal de Biabo, Cuenca Huallaga) que hacia la zona del Boquerón presenta una ruptura de charnela producto de alta compresión generando el tipo de estructura que se reconoce en la actualidad (Figura 80).

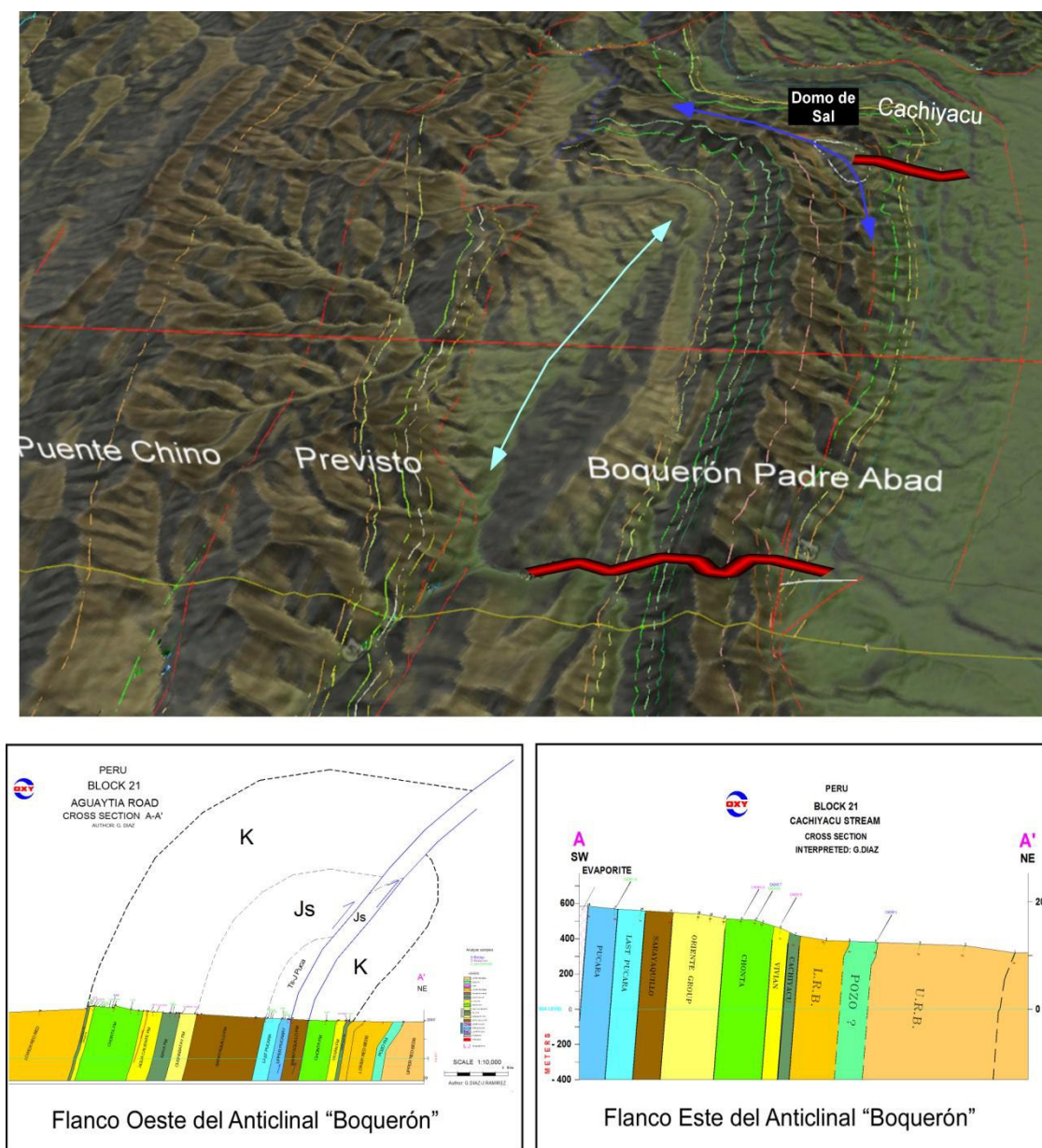


Figura 79: Ubicación de las transectas en la imagen DEM la cual pertenece a la escama "Boquerón", fijarse en la verticalidad de los estratos registrados por Occidental.

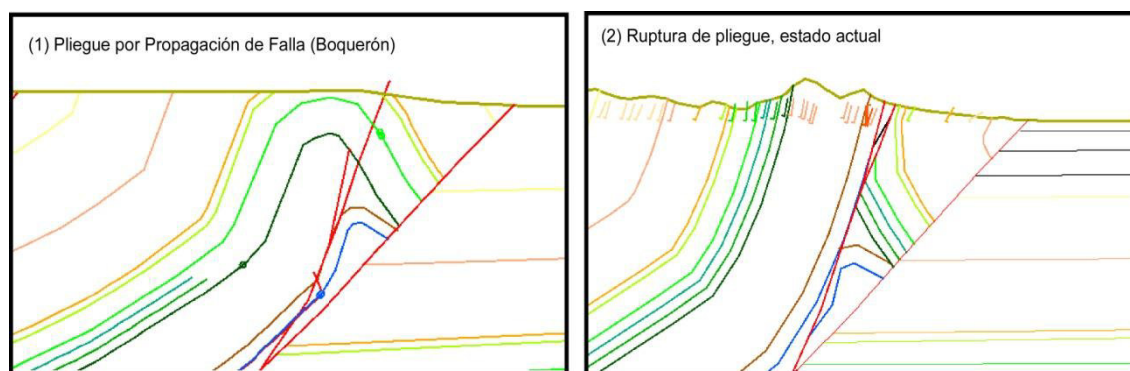


Figura 80: Modelo de pliegue por propagación asignado a la escama del "Boquerón"

La presencia de dúplex (antiformal stack) que yace por debajo de estas imbrincaciones presenta una historia de deformación que antecede a la tectónica andina debido a que esta fuerte deformación es erosionada por la discordancia de la base Cretácica y pobremente reactivada por la tectónica andina. La peculiaridad de esta estructura es la dimensión que probablemente presente debido a que la sísmica no abarca esta estructura en su totalidad hay otras evidencias que pueden indicar la posible dimensión, edad y potencial de esta estructura.

Como muestra la figura 81 este dúplex se caracteriza por generar una zona triangular formando un sinclinal de las capas rojas pre-cretácicas. Esto hace pensar que la prolongación sur de esta estructura yace por debajo del despegue frontal de la zona subandina y puede ser considerado como prospecto a futuro (ver Capítulo V).

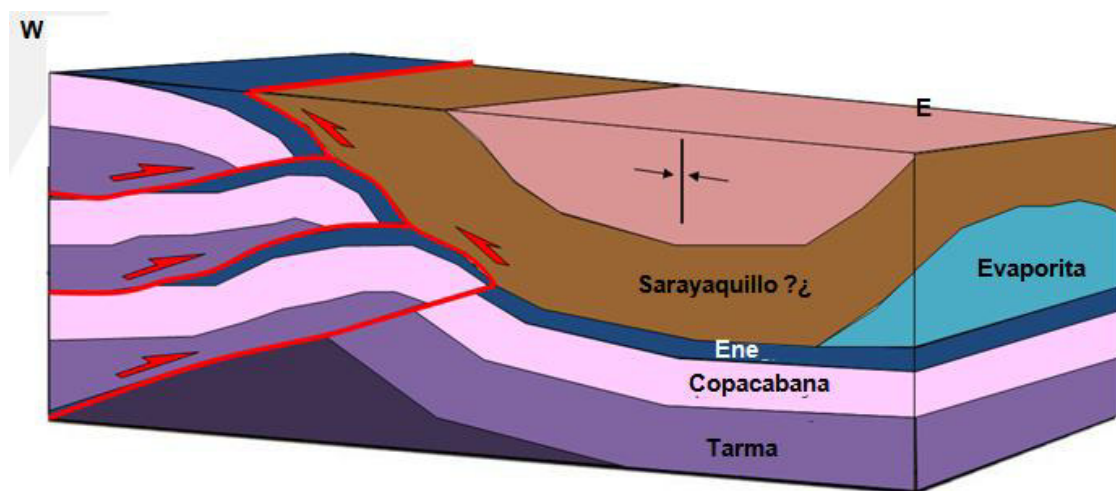


Figura 81: Block diagrama de los dúplex junto la presencia de las evaporitas .

CÁPITULO V

<u>V</u>	<u>SISTEMA PETROLERO</u>	97
	<i>Elementos del Sistema Petrolero</i>	97
	<i>Procesos de un Sistema Petrolero</i>	98
	<i>Sistema Petrolero de la cuenca Ucayali Norte</i>	99
	<i>Potencial Exploratorio de la cuenca Ucayali Norte</i>	108

CÁPITULO V SISTEMA PETROLERO DE LA CUENCA UCAYALI NORTE

El concepto más utilizado en la industria del petróleo para entender el potencial de hidrocarburos exploratorio en una región, es el sistema petrolero. Este plantea diversos conceptos que han evolucionado con los adelantos en la geoquímica orgánica y los sistemas computacionales. Recientemente, el concepto de Sistema Petrolífero (Perrodon, 1992; Magoon, 1988, 1994, 1995) ha demostrado ser de gran utilidad para orientar la exploración de petróleo y disminuir los altos riesgos de esta (Demaison y Perrodon, 1994; Dow, 1994).

Es un sistema natural que comprende un volumen de roca fuente madura de hidrocarburos así como todo el petróleo y gas generado de dicha roca y que está presente en acumulaciones comerciales y no comerciales. Un sistema petrolífero incluye todos los **elementos y procesos** geológicos que son esenciales para que un depósito de crudo y gas exista (Magoon y Dow, 1994). Las siguientes definiciones de términos relacionados con el concepto de sistema petrolífero han sido tomadas de Magoon y Dow (1994). El termino sistema se refiere a los elementos interdependientes y procesos que forman la unidad funcional que crea la acumulación de hidrocarburos.

Elementos que forman un sistema petrolífero:

1. **Roca fuente de petróleo:** aquella que está generando o ha generado y expulsado petróleo. La roca fuente necesita haber estado sometida a un calentamiento durante un lapso de tiempo geológico para alcanzar madurez termal para generar hidrocarburos.
2. **Roca almacenadora de petróleo:** aquella que almacena el petróleo. El petróleo es almacenado en los poros de esta roca.
3. **Roca sello:** aquella que impide que el petróleo se escape de las trampas donde se ha acumulado. Las trampas son los sitios donde existe una disposición geométrica convexa de la roca almacenadora y de la roca sello que favorece la acumulación del petróleo e impide que este escape hacia arriba o hacia los lados.
4. **Roca de sobrecarga (carga litostática):** aquella que cubre a la roca fuente y causa su enterramiento a una profundidad tal que se den las condiciones de temperatura necesarias para que se genere petróleo a partir de la materia orgánica contenida en la roca fuente.

Procesos de un sistema petrolífero:

1. **Formación de las trampas**, incluye todos los procesos que producen la disposición geométrica favorable para que el petróleo quede acumulado y atrapado en ellas. Estos procesos son deformación de las rocas en el caso de trampas estructurales y procesos sedimentarios y diagenéticos en el caso de trampas estratigráficas.
2. **Generación de hidrocarburos**, proceso mediante el cual la materia orgánica contenida en la roca fuente es convertida en hidrocarburos por la acción del aumento de temperatura y del tiempo.
3. **Migración de los hidrocarburos**, procesos de movimiento o flujo de los hidrocarburos desde la roca fuente donde son originados hasta la trampa donde son acumulados.
4. **Acumulación de hidrocarburos en las trampas**. Resultado de la migración de hidrocarburos hacia las zonas geométricas favorables, trampas.

Un sistema petrolífero existe donde se sabe que ocurren todos estos elementos y procesos esenciales o donde se piensa que hay buenas posibilidades de que ocurran.

El nombre de un sistema petrolero incluye la roca generadora, seguido del nombre de la roca reservorio principal y el símbolo expresa su nivel de certeza (Magoon et al., 1994).

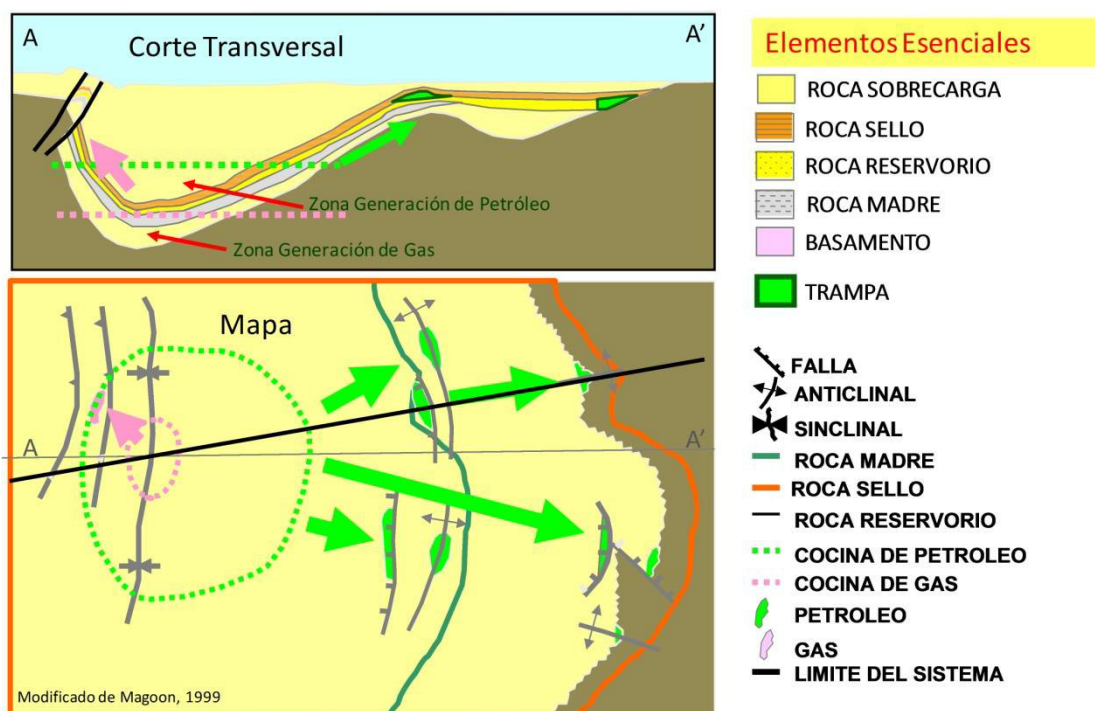


Figura 82: modelo conceptual de Sistema Petrolero tomado de Magoon (1999).

Sistema de petróleo de la Cuenca Ucayali Norte

La cuenca Ucayali Norte definida como una cuenca de antepaís, presenta un conjunto de elementos, procesos y manifestaciones que nos da los indicios para que exista un sistema petrolero según las condiciones necesarias mencionadas por Magoon (1994). Las rocas madres y rocas reservorios que van desde el Paleozoico hasta el Cretácico superior han sido poco estudiadas y por tanto son escasos los análisis sobre ellos.

El presente análisis parte de la compilación de datos que provienen de compañías que han incursionado en esta zona. Por otro lado la nueva propuesta estratigráfica realizada permitirá la propuesta de elementos de sistema petrolero presentes.

Elementos

Roca Madre

Las características de las rocas generadoras son poco conocidas debido a que todas las unidades potenciales no son alcanzadas en las perforaciones de los pozos de la sub-cuenca Pachitea, de la misma manera, son escasos los datos en la literatura, cubriendo parcialmente este vacío, los análisis geoquímicos de muestras se realizaron en las campañas de campo de Occidental (2003), Elf (1996), IRD (2006), Petrolífera (2008) y los pozos Oxapampa 7-1, San Alejandro 1-X y Rashaya Sur 1-X.

Paleozoico

En el subandino, el paleozoico presenta buenas propiedades como roca generadora. Los análisis indican que las mejores unidades como roca madre se encuentran en formaciones permo-triásicas, las cuales le asignamos el nombre de Fm. Ene y Fm. Shinai (facies correlativas con la estratigrafía del área de Camisea). Por otro lado, la Formación Cabanillas y Ambo presenta también niveles ricos de materia orgánica; pero a nivel de afloramiento no es reportada en nuestra área de trabajo.

Formación Cabanillas:

La falta de análisis geoquímicos y el no ser encontrado en pozo ni afloramiento no permite evaluar su potencial petrolífero. Sin embargo en el flanco oriental de las Montañas del Shira, Nevati, la compañía ELF realizó análisis de TOC y Ro resultado valores que oscilan entre 0.06 - 1.71% y 0.75 de Ro, respectivamente. El espesor de esta formación a nivel de Nevati asciende a 80 m. El pozo Rasahaya sur según Corelab (1998) presenta valores de 0.65% de TOC y 0.85 de Ro. Esta unidad presenta buena calidad de kerogeno, madura, con potencial de generación de petróleo.

Solo a nivel de las secciones sísmicas se puede seguir esta formación, siendo una de las potenciales rocas madres de esta cuenca, aún por descubrir.

Formación Ambo:

Al igual que la Formación Cabanillas, esta también aflora en Nevati, (Elf, 1996) . ELF realizo análisis de TOC y Ro los cuales oscilan entre los 0.7-1.06% y 0.9 de Ro, hacia el este del Shira en los pozos la Colpa 1X y Runuya 1X reportan TOC de 2,5% y 0,52% junto con Ro de 1,28 y 1.43 respectivamente teniendo buena calidad de kerogeno, madura, con potencial de generación de hidrocarburo.

En la sub-cuenca Pachitea esta unidad se extiende por subsuelo siendo registrada tanto con la cordillera Oriental (cuadrangulos INGEMMET) junto con las montañas del Shira (Elf, 1996) en superficie e interpretada en la sísmica por debajo de la discordancia de la base del Grupo Tarma.

Formación Ene:

Esta unidad estratigráfica que en la base está compuesta por lutitas negras (Lutitas Ene) con alto contenido de materia orgánica (Figura 71), está presente en el pozo San Alejandro 1X (Benson, 1998). Los análisis geoquímicos indican valores buenos de TOC: 3.29 wt%, Ro: +- 1.21 % como potencial de generar petróleo – gas (Cepsa, 2011) . El espesor de esta formación se estima superior a 25 m reportado en el pozo San Alejandro 1X.

Su extensión puede ser determinada a partir de correlaciones de pozos junto con la sísmica y muestran una distribución regional, un ejemplo de esto es la correlación de la Figura 42 y Figura 43.



Figura 83: Recorte de pozo del nivel de lutitas negras de la formacion Ene.

Formación Shinai

Este juega un papel importante en la parte norte de la sub-cuenca Pachitea, es rica en materia orgánica. Estas unidades afloran en la base de las escamas de la zona subandina por encima de niveles evaporíticos.

A nivel del corrimiento principal, OXY realizó análisis de muestras de campo en las calizas con valores de TOC de 0.61% y Ro de 1.8, resultando con potencial de petróleo: medio; y una madurez termal de: post-madura. Para la zona del Boquerón Padre Abad se reporto la presencia de estas calizas caracterizadas por el fuerte olor a hidrocarburo.

Para la cordillera San Matías, Petrolifera (2009) reporta en la quebrada Gavilán valores de 2,29 % de TOC y Ro: +-1.5 en sus facies marinas.



Figura 84: Afloramiento de calizas negras cabe resaltar el fuerte olor a hidrocarburo (San Matías, Petrolifera).

Grupo Pucara

Esta Formación no aflora en el Pachitea pero es reportado en los pozos Oxapampa, siendo el pozo Oxapampa 7-1 en los 900 m aproximadamente el que cuenta con información geoquímica (Petrolifera, 2009); donde sus valores de TOC oscilan de 0.2 – 2.25% , resultando que tiene un potencial de petróleo de pobre a muy bueno.

De oeste a este el Grupo Pucara desaparece, llegando en el subsuelo hasta el sinclinal de Iscozacín, según la sección sísmica de PP10707-30(Figura 82). Al norte-oeste existe un control netamente de afloramientos para la zona de Tingo-Maria y San Vicente.

Cretácico

El Cretácico presenta tres formaciones potenciales con contenido de materia orgánica pero han sido durante mucho tiempo estudiadas debido a pesar de su escasa profundidad. Estas unidades son: la Formación Chonta, la Formación Raya y la Formación Cachiyacu.

La primeros indicios fueron reportados en todos los pozos Oxapampa; por ejemplo el pozo Oxapampa 7-1 presenta niveles de TOC de 0.12-0.22 para las unidades cretácicas, estas indican un potencial de petróleo muy pobre. De la misma manera hacia los afloramientos de Icozacín, tomados a la Formación Chonta por la campaña de IRD-2006 presentan valores de TOC y Ro de 0.14 y 0.9 respectivamente los cuales tampoco representan niveles importantes.

Hacia el Lote 133 campañas realizadas por Occidental muestran valores de 0.6 a 0.9% de TOC junto con valores de 0.8 de Ro en los niveles péliticos del Chonta. Así mismo la Formación Raya presenta valores promedio de 0.15 % de TOC reportado en el pozo Oxapampa 7-1 y hacia el norte en la quebrada Río Negro Occidental reporta valores de 0.57 % de TOC con 0.6 de Ro.

La Formación Cachiyacu también presenta algunos niveles de roca generadora pero al igual que la formación Chonta y Raya son pobres, estas unidades son consideradas como potencial roca generadora.

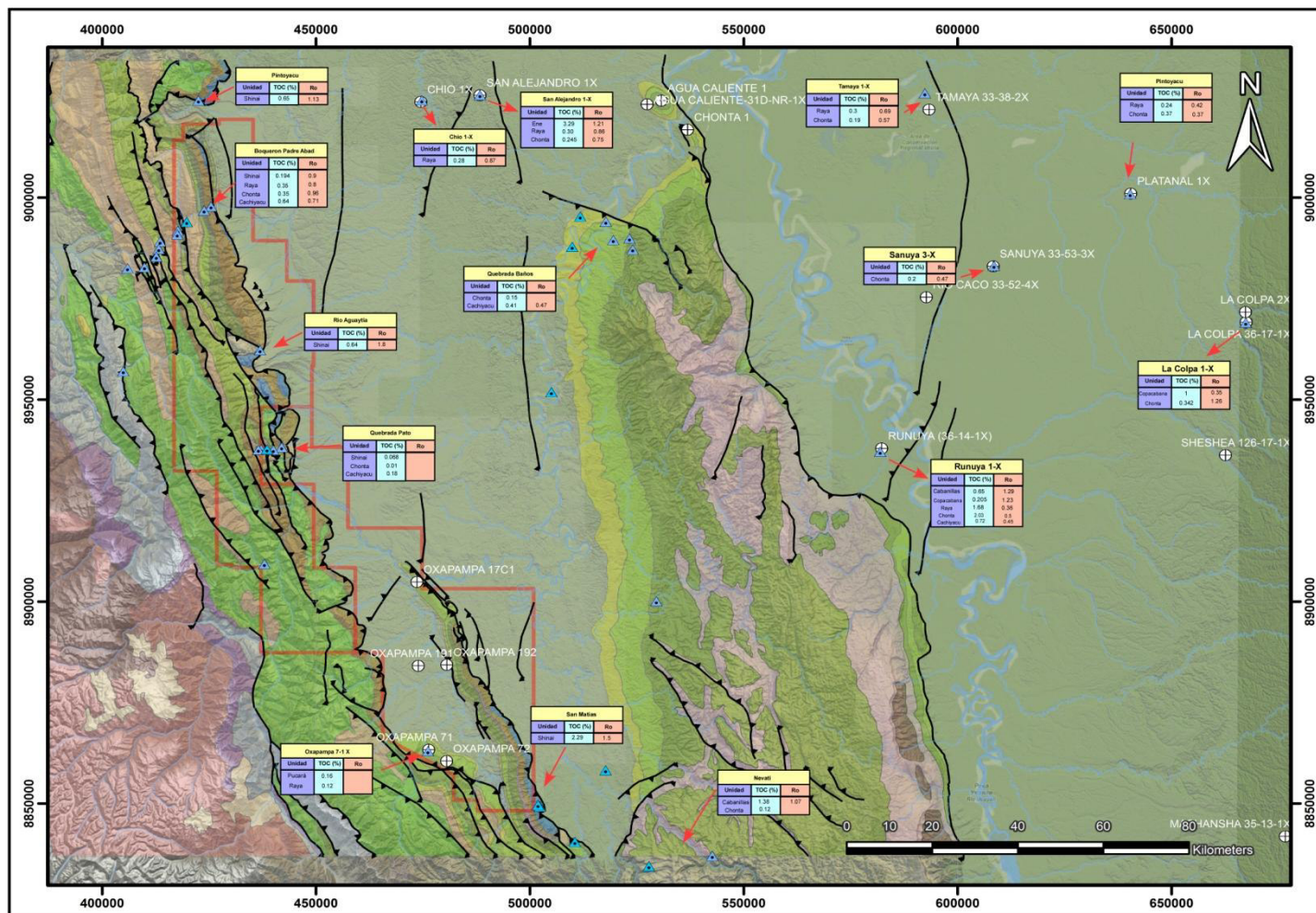


Figura 85: Control de información geoquímica de afloramientos y pozos de las potenciales rocas generadoras

Rocas reservorios

Los estudios petrográficos realizados por las compañías hasta la actualidad junto con los pozos perforados definen reservorios que se encuentran en el intervalo del Paleozoico al Cretácico de tipo generalmente clástico, actualmente no se tiene definida la presencia de otro tipo de reservorio ya sea no convencional o carbonático en esta parte de la cuenca pero queda abierto a futuros estudios.

Regionalmente, existen múltiples reservorios cretácicos (Fm Cushabatay, Fm Agua Caliente, Fm Vivian) y paleozoicos y pre-cretácicos (Green Sandstone – Fm Tarma, Fm Ene, Fm Noi y la Fm. Lower Nia). En general, los reservorios del Cretáceo tienen buenas características petrofísicas; mientras que las secuencias del Paleozoico, hacia el este en la cuenca Ucayali, presentan buena porosidad y se van deteriorando hacia el oeste.

Para el presente estudio se realizó un análisis de muestras de afloramientos y registro de pozo que puedan definir mejor las características de cada reservorio presente.

Paleozoico

Formación Tarma:

Esta formación aflora en Nevati, y es reportado por ELF (1996). Cuenta con una columna de areniscas verdes (con estructuras tipo “cross bedded” de grano medio e intercalaciones de niveles finos, presentando un espesor de 178m.

En San Matías, en las secciones sísmicas los reflectores indican una continuidad de la formación, debajo de la Formación Copacabana, prestándose todavía a interpretación en la parte más occidental, flanco occidental de San Matías.

Aunque no se encuentra aflorando en San Matías, presenta una probable roca reservorio que todavía no se ha analizado en detalle.

Formación Ene, Ene eólico:

Esta formación que está suprayaciendo a las lutitas Ene. Presenta una columna de areniscas de grano fino a medio de aproximadamente de 126 m de espesor reportado por el Pozo San Alejandro 1 -X.



Figura 86: Recorte de pozo del nivel de areniscas de la formación Ene (Perupetro, 2005).

Formación Noi:

Esta formación sobrayace a los niveles de arenisca y lutitas de Ene, cabe resaltar que es un buen reservorio en Ucayali sur y en esta parte de la cuenca presenta espesores mucho mas grandes (Figura 41).

Formación Nía Inferior:

Esta formación es reportada por Petrolifera (2009) en la Cordillera San Matías en donde los niveles de areniscas eólicas con grano medio presentan impregnaciones de hidrocarburo.



Figura 87: Muestra de areniscas de la Formación Nía Inferior de la C. San Matías (Petrolifera 2009) .

Formación Cushabatay

La Formación Cushabatay presenta buenas características para ser considerada roca reservorio. Está caracterizada por presentar niveles de areniscas finas en contacto flotante, masivas de grano grueso y de medio fluvial (*Allcca, 2007*). Dentro de la matriz al igual que las formaciones infrayacentes, cuenta con puntos blanquecinos (niveles volcanicos). Visualmente presenta una porosidad baja a media, se encuentra en bancos y cuenta con un espesor de 640 m

Se extiende en todo el subandino, y es un buen reservorio por la calidad de su formación. Según los datos de OXY (2003), en la zona de Boquerón del Padre Abad y la parte norte del mismo, los análisis petrográficos arrojan valores de porosidad que fluctúan entre 10 y 16%, y permeabilidades razonables (Reporte final OXY, 2003). Mientras que al sur, en Puente Paucartambo, estas secuencias se presentan encima de la Formación Sarayaquillo con aproximadamente 500m de espesor (Según Jaillard, 1996) con buena porosidad. No obstante, es considerado el principal objetivo como reservorio en los estudios de campo.

En base a estos resultados, en el área de estudio, la Formación Cuchabatay presenta características afines a las descritas anteriormente, sus areniscas con facies conglomeraticas presentan buena porosidad y permeabilidad la cual la hace buen objetivo en la búsqueda de hidrocarburos.

Rocas Sello

Dentro de los sistemas de petróleo encontrados en la Sub-Cuenca Pachitea existen diferentes secuencias de finos que actúan como sello, éstas se observan a lo largo de la columna estratigráfica de W a E (Figura 45).

A partir del análisis de elementos del sistema petrolero de la cuenca Ucayali norte es posible observar que hay uno o más de un sistema petrolero activo y esto se puede dar a conocer a partir de las manifestaciones de hidrocarburo en superficie (Figura 88) la cual fue recopilada de los trabajos realizados por Cepsa (2011) y Petrolífera (2009) mostrando un buen potencial para la exploración y explotación de hidrocarburos.

Trampa

La presencia de trampas están evidenciadas por las secciones sísmicas en su mayoría encontramos trampas del tipo estructural pero es posible encontrar trampas estratigráficas para unidades como las formaciones Ene-Noi ubicadas por debajo de la discordancia de la base del Cretácico con dirección al flanco oeste del Shira.

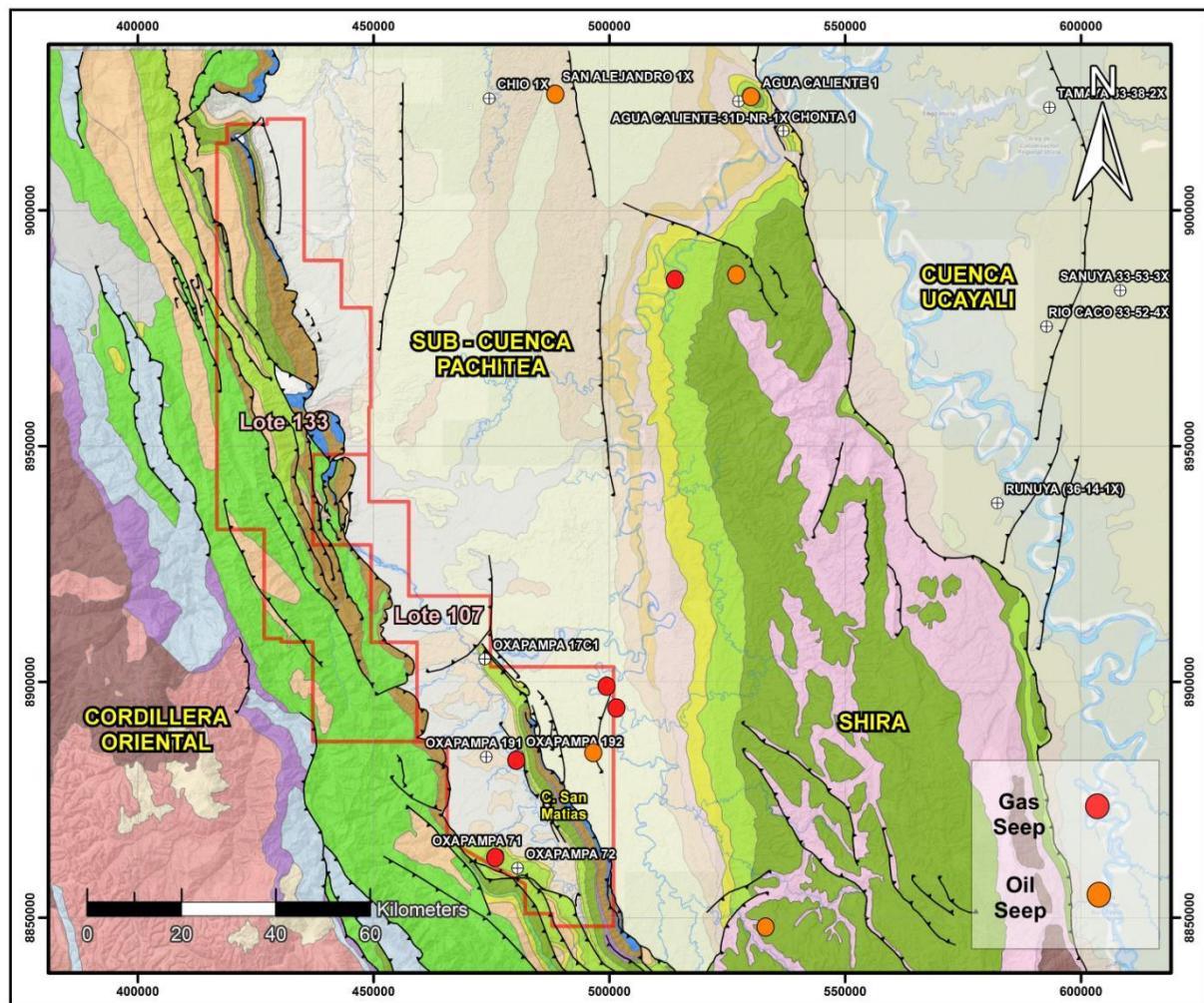


Figura 88: Mapa de manifestaciones de hidrocarburos modificado de Cepsa (2011) y Petrolífera (2009)

Potencial Exploratorio de la Cuenca Ucayali Norte

La cuenca Ucayali norte aun es pobremente desarrollada pero con un gran potencial visible en sus elementos del sistema petrolero como también en las trampas que esta presenta. Para ello el presente capitulo permite analizar el área de estudio y proponer nuevas ideas para futuros prospectos.

La presencia de manifestaciones de hidrocarburo en el área de trabajo (Figura 88) muestra un sistema petrolero activo el cual está propuesto en anteriormente. Es posible observar importantes estructuras a lo largo de la sub-cuenca Pachitea, la cual muestra el gran potencial de esta cuenca , estas trampas estructurales son evidenciadas tanto en las secciones estructurales norte, centro y sur de la cuenca (Figura 90).El mapa estructural en Tiempo realizado a la discordancia de la base Cretácica (Figura 89) muestra una profundidad de más de 4 segundos hacia el noroeste de la sub-cuenca Pachitea, la cual se puede atribuir a una importante zona de cocina debido al buen espesor de sobrecarga de sedimentos terciarios que presenta pudiendo generar hidrocarburo y este migrar a estructuras como Agua Caliente y San Alejandro junto con estructuras al sur de la sub-cuenca Pachitea.

Hacia el norte el prospecto (1) está relacionado con los dupléxs pre-cretácicos debido a ser una estructura formada antes de la posible expulsión de hidrocarburos con una interesante presencia de reservorios como las areniscas Ene y Noi el único inconveniente radica en la profundidad de esta estructura que en cierto modo puede alterar las condiciones de los reservorios mencionados. El prospecto (2) está relacionado con el anticlinal que yace debajo del corrimiento frontal del subandino junto con pequeños pliegues presentes en la conocida rampa lateral que marca el fin de la estructura San Matías, los objetivos son los reservorios cretácicos y pre-cretácicos. Para el prospecto (3) la estructura del sub thrust de San Matías es un pliegue producto de la inversión tectónica con objetivos de reservorios cretácicos y pre-cretácicos cabe resaltar el registro de oil seeps en esta zona de la cuenca junto con impregnaciones de hidrocarburo presentes en los afloramientos de la Cordillera de San Matías que marcan signos de migración en sus potenciales reservorios y probable acumulación en esta estructura(ver Figura 90).

Es importante mencionar la presencia de trampas estratigráficas que pueden darse en los potenciales reservorios del pre-Cretácico propuestos, debido a la acción de sello que produce la discordancia de la base Cretácica. A partir de este estudio buscamos complementar el potencial que ya es conocido en la cuenca Ucayali por medio de la presente propuesta de nuevos reservorios y nuevas trampas que ponen en un contexto favorable a esta cuenca.

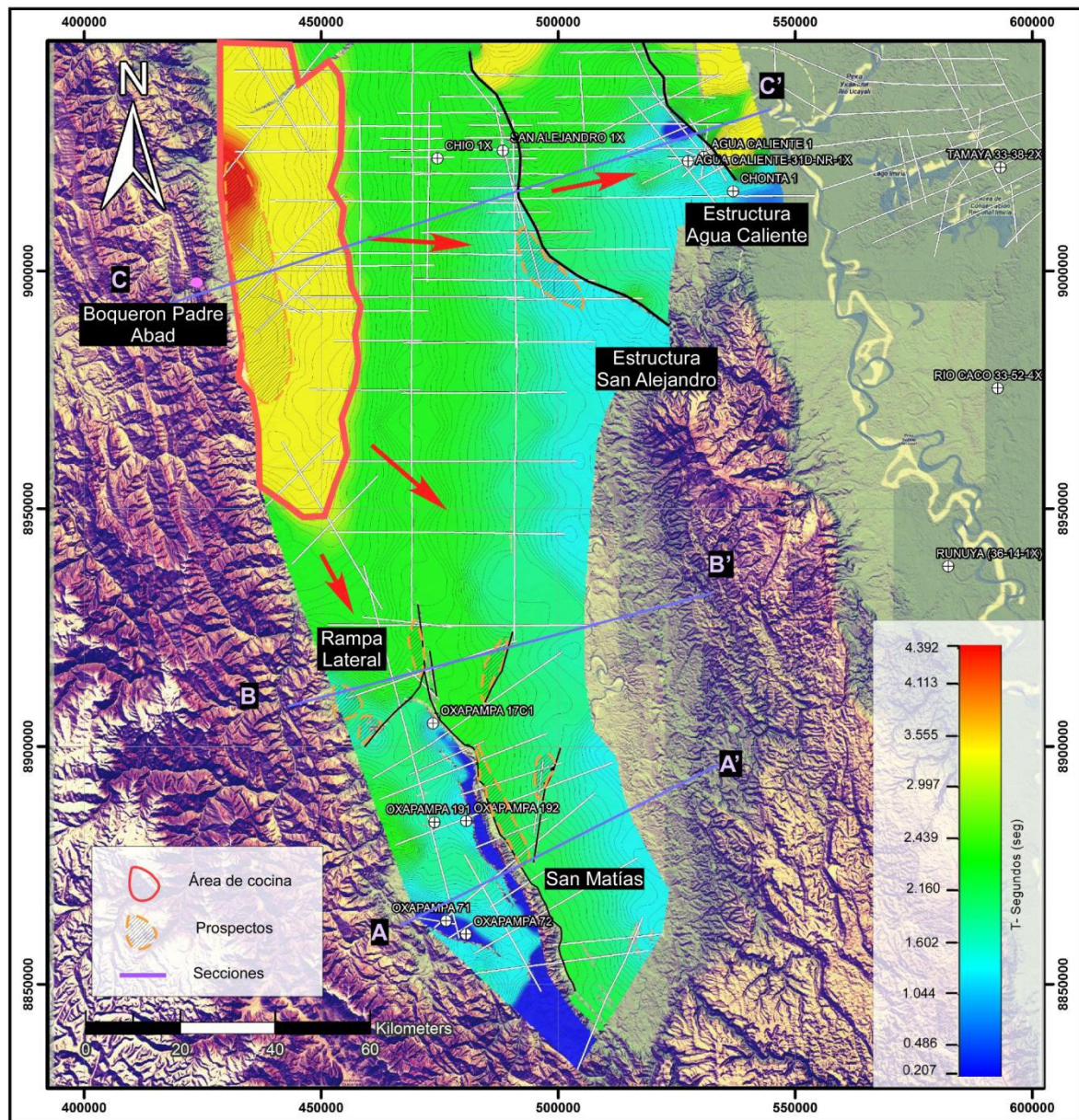
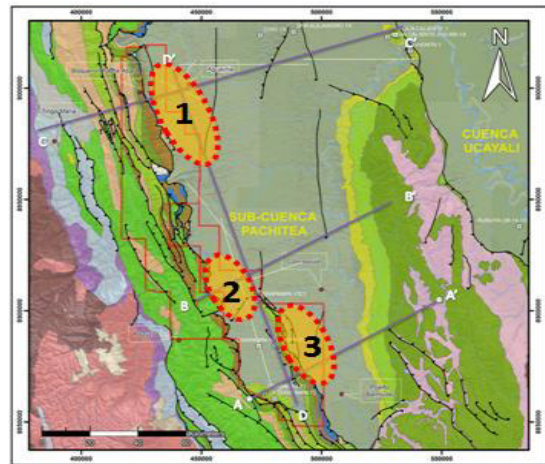


Figura 89: Mapa estructural en tiempo de la base del Cretácico mostrando la posible área de cocina junto con los prospectos planteados de las interpretaciones sísmicas.



SISTEMA PETROLERO PRESENTE

ROCA MADRE: GPO ENE (SHALE Y LIMESTONE ?)
AMBO

ROCA RESERVORIO: CUSHABATAY
GPO ENE (ENE – NOI)

TRAMPA: PLIEGUES POR INVERSION Y DUPLEX

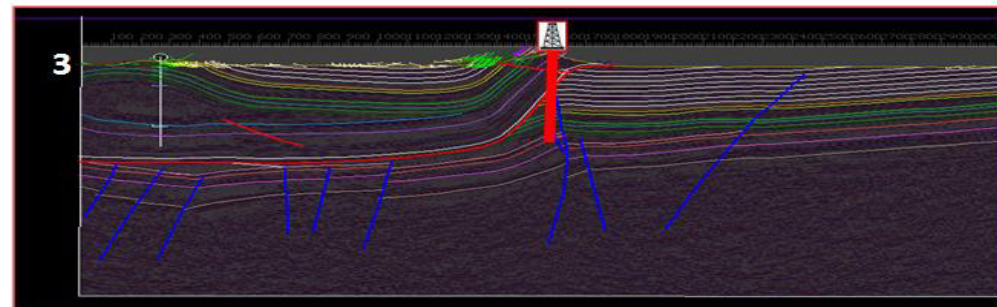
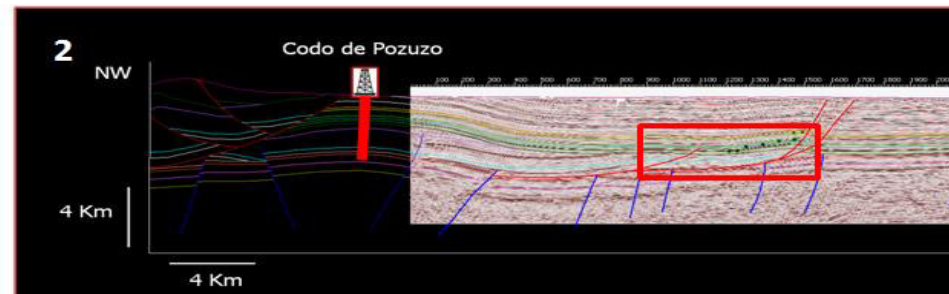
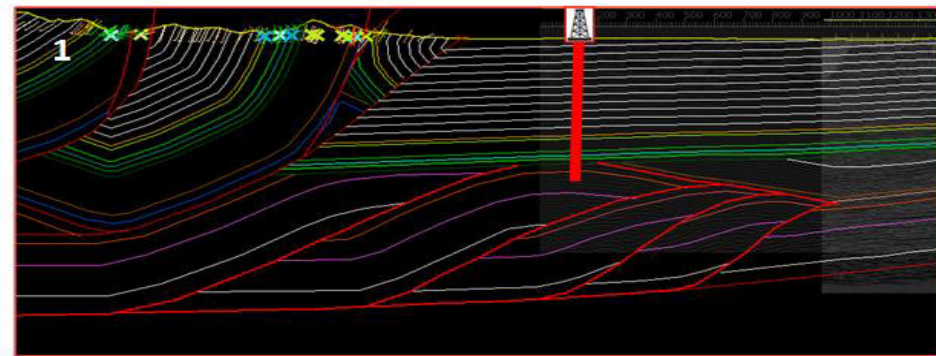


Figura 90: Principales trampas reconocidas a partir de las secciones estructurales

CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENACIONES

- La zona noroccidental de la cuenca Ucayali presenta una evolución ligada a tectónica de piel delgada (zona subandina) y tectónica de piel gruesa (estructuras San Alejandro y Agua Caliente), esta evolución se registra desde el Neógeno con una orientación de compresión E-W principalmente.
- La nueva propuesta estratigráfica marca la extensión norte de niveles permo-triásicos registrados al sur de la cuenca Ucayali (campo de Camisea), la presencia de dos niveles evaporíticos complementa esta propuesta cabe resaltar que estos niveles están atribuidos tanto en el Jurásico (Grupo Pucará) y a finales del Pérmico (Formación Shinai). Es recomendable un análisis sedimentológico de unidades pre-cretácicas mencionadas en esta parte de la cuenca.
- La nueva sísmica muestra estructuras complejas combinando corrimientos, semi-graben invertidos y dúplex preservados por debajo de la discordancia cretácica que marcan la presencia de una tectónica compresiva pre-cretácica que no estaba registrada en esta parte de la cuenca .
- La deformación está representada por dos niveles de despegue principales uno está ubicado en el Paleozoico inferior (Formación Cabanillas) seguido por las evaporitas pérmicas (Formación Shinai), acorde con las secciones sísmicas y los levantamientos de campo reconocidos.
- El sistema de corrimiento frontal de San Matías involucra la combinación de inversión tectónica y corrimiento , la sección balanceada muestra un acortamiento de 10 km hacia la zona central .
- La sección norte del Boquerón Padre Abad muestra dúplex pre-cretácicos que controlan la propagación del corrimiento frontal. El rift Triásico está invertido y forma el backstop de la zona subandina, la sección presenta un acortamiento de 52 km.
- La evidencia de seeps indican un sistema petrolero activo, la presencia de rocas generadoras Paleozoicas junto con reservorios Pre- Cretácicos y Cretácicos marcan un buen potencial en esta parte de la cuenca poco estudiada.
- Las trampas son estructurales principalmente, la posibilidad de trampas estratigráficas recae en unidades pre-cretácicas y en sus potenciales estructuras relacionadas a tectónicas antiguas, las cuales abren la puerta a nuevos objetivos en la exploración.

CÁPITULO VII

BIBLIOGRAFÍA

ALLMENDINGER, R.W. 1998: Inverse and forward modeling of trishear fault propagation folds. *Tectonics*. 17 (4): 640-656. AUDEBAUD E, CAPDEVILLA R., DALMAYRAC B, otros; Les traits géologiques essentiels des andes centrales (Perú, Bolivia) Vol. XV, fasc. 1-2, pp. 73-114.

ALLCCA, M. A. (2007). La sub cuenca Pachitea: estructura, nueva estratigrafía y potencial hidrocarburífero. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería.

AUDEBAUD, E., R. CAPDEVILLA, B. DALMAYRAC, J. DEBELMAS, G. LAUBACHER, C. LEFEVRE, R. MAROCCO, C. MARTINEZ, M. MATTAUER, F. MEGARD, J. PAREDES, AND P. TOMASI, Les traits géologiques essentiels des Andes Centrales (Perou-Bolivie), *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn.* 15, 73-114, 1973.

BALLARD, J.F., F. CERDA, J. C. GUILLON, H. POURTAL, and J.F. RIOU (1997). Peru-Block 66 Geologic Synthesis: Structural Geology, *Elf report, PeruPetro Technical Archive ITP 20010*.

BEAUMONT C. 1981: Foreland basin. *Roy. Astron. Geophy. Journ.*, 137, pp. 291- 329.

BP (2008). Perú Regional Chronostratigraphy-Stratigraphic Analysis of 14 Wells in the Subandean Basins of Peru.

BUMP A.; KENNAN L.; FALLON J.; Structural History of the Andean Foreland (Peru) and Its Relation to Subduction Zone Dynamics, AAPG Annual Convention, 2008.

CATUNEANU, O., MIAL, A.D., SWEET, A.R., 1997. Reciprocal architecture of Bearpaw T-R sequences, uppermost Cretaceous, Western Canada. *Sedimentary Basin* 45 (1), 75-94.

CAPUTO M. V. (2014). Juruá Orogeny: Brazil and Andean Countries. *Brazilian Journal of Geology*, 44(2), 181-190.

CEPSA (2011). Geological & Geophysical Report- block 131 Ucayali Basin Perú, pp. 28.

CGS CONSULTORES ASOCIADOS & INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO(1997) Geología de los cuadrángulos de Codo del Pozuzo y Rio Palcazu, hojas: 20-m y 20-n. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 88, 144 p., 2 mapas.

CHRISTOPHOUL, F., 1999. Discrimination des influences tectoniques et eustatiques dans les bassins liés à des zones de convergence: exemples du bassin subandin d'Equateur. Phd, Université Toulouse III, Paul Sabatier, 184 pp.

COOPERACIÓN TÉCNICA PERUANO - ALEMANA (1982). Cuenca Ucayali Boquerón del Padre Abad.

CRISTALLINI, E. 1998: Introducción a las fajas plegadas y corridas; Buenos Aires. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, pp. 9,10.

DALMAYRAC, Bernald; LAUBACHER Gerard; MAROCCO Rene. Abril 1988: Características Generales de la Evolución Geológica de los Andes Peruanos, Boletín N° 12, Serie D, estudios especiales, pp 197,229.

DECELLES P. et GILES K. 1996 : Foreland basin Systems. *Basin Research*, 8, pp. 105-123.

DICKINSON W. R. 1974: Plate tectonics and sedimentation. Spec. Publ. *S.E.P.M.* 22, pp. 1-27.

ELF. (1996). Perú-Block 66, Geological synthesis, sedimentary geology, 30pp.

ELF Hidrocarburos Perou, (5-02-1999): Final report, block 66, Perú, *volumen III*, pp. 2,3,8-13, 17, 29-32, 36-46.

ERSLEV, E.A., 1991: Trishear fault-propagation folding. *Geology*. 19: 617-620.

ERSLEV, E. y ROGERS, J. 1993: Basement-cover geometry of Laramide faultpropagationfolds. En Schmidt, C. J., Chase, R. B., y Erslev, E. A. (Eds.). *Laramide Basement Deformation in the Rocky Mountain Foreland of the Western United States*:Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 280: 125-146.

ESPURT, N., 2007. Influence de la Subduction d' une ride asismique sur la dynamique de la plaque continentale chevauchante: Exemple de la Ride de Nazca et du Bassin Amazonien. Phd Thesis. Universite Paul Sabatier de Toulouse. 328 p

ESPURT, N., P. BABY, S. BRUSSET, M. RODDAZ, W. HERMOZA, V. REGARD, P.-O. ANTOINE, R. SALAS-GISMONDI, AND R. BOLAÑOS (2007). How does the Nazca Ridge subduction influence the modern Amazonian foreland basin?, *Geology*, 35, 515–518.

FLEMINGS, P. & JORDAN, T.; (1989): A Synthetic Stratigraphic model of Foreland Basin Development. *Juornal of Geophysical Research*. Vol. 94.

GIL RODRIGUEZ, W. (2002), Evolución lateral de la deformación de un frente orogénico: ejemplo de las cuencas subandinas entre 0° y 16° S. *Sociedad Geológica del Perú, Publicación especial*, 4, 146 p.

GIL RODRIGUEZ, W., P. BABY, AND BALLARD, J.F. (2001), Structure et contrôle paléogéographique de la zone subandine péruvienne, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 333, 741–748.

HERMOZA, Wilber. 2005: “Reporte Técnico Cuenca Ucayali, Avance 2005”,PERUPETRO. Lima, Banco de Datos Perupetro, pp. 2, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 38.

HERMOZA, Wilber. 2004: Dinamica Tectono-Sedimentaria Y Restauracion Secuencial De La Cuenca De Antepais De Los Andes Centrales, tesis de doctorado, Université, Paul Sabatier Toulouse III, pp. 2, 227, 228, 230.

JORDAN T.E. 1995, Retroarc foreland and related basins, in Busby C.J., Ingersoll R.V. eds., Tectonics of sedimentary basins: Oxford, UK Blackwell Science p. 331– 362.

LCV DEL PERÚ (2002). Informe Palinológico pozo San Martín-1. Pluspetrol. Informe interno. Inédito.

LEIGH R. & REJAS A. 1966 : Columna estratigráfica Pongo de Paquitzapango, Rio Ene, Reporte Inédito, Petroperu.

MAGOON, L.B. 1988: The Petroleum System, A classification scheme for research, exploration and resource assessment, In: Magoon, L.B., ed., Petroleum Systems of the United States: U.S.G.S. Bulletin, p. 2-15.

MAGOON, B; DOW, Wallace. 1994: The Petroleum System From Source to Trap, AAPG memoir 60. pp 170,176.

MEGARD, F. 1973: Etude géologique d'une traversale des andes au niveau du Pérou central. Thèse Doct. Es Scl. Nat., Montpellier.

MONTOYA M & BERROSPI A. 1990 : Secciones estratigráficas quebradas Apurucayali y Nevati, cuenca Ucayali. Reporte Inédito PETROPERU.

MITRA S. 1993: Geometry and kinematic evolution of inversion structures. *A:A:P:G V77 N° 7*.

NARR,W.; SUPPE, J.1994: Kinematics of basement involved compressive structures. American Journal of Science 294, 802 y 860.

NEWELL, N. D., J. CHRONIC, AND T. G. ROBERTS (1953), Upper Paleozoic of Peru, 276 pp.

NEWELL, N. D., AND I. A. TAFUR (1943), Ordovícico Fossilífero en la selva Oriental del Peru, Bull. Soc. Geol. Peru, 14, 5-16.

OCCIDENTAL PETROLERA DEL PERÚ (2003). Reporte Final Convenio de Evaluación Técnica (TEA).

PANENERGY (1998) Reconocimiento Pozo Oxapampa 19-1, lote 40, ITP20694 (código, base de datos PERUPETRO), pp 01-10.

PANENERGY (1998) Palinological Report on San Alejandro 1X, Perú by G. Benson.

PARSEP (2002). Ucayali - Ene Basin Technical Report. Proyecto de asistencia para la Reglamentación del sector energético del Perú, PERUPETRO S. A., 2002, Lima Perú.

PERUPETRO S.A. (2005). Evaluación Estructural de la Faja Plegada Fallada Subandina, Primera Parte Ucayali Norte: Análisis de Secciones Balanceadas, Definición de áreas con Potencial Para Trampas Estructurales y/o Estratigráficas.

PETROLÍFERA (2009). Informe Final del Primer Periodo de la Fase de Exploración - Lote 107 - Cuenca Ucayali.

PETROLÍFERA (2011), Informe Geológico y de Potencial de Hidrocarburos del Lote 133 - Cuenca Ucayali.

PERRODON, A. 1992: Petroleum System: Models and applications: Journal of Petroleum Geology, v. 15, n. 3, p. 319-326.

PLUSPETROL E&P S.A. (2012) Evaluación Geológica y potencial exploratorio del bloque 108, Perú.

ROSAS, S., L. FONTBOTE, AND A. TANKARD (2007), Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucara Basin, central Peru, J. S. Am. Earth Sci., 24, 1-24.

SINCLAIR, H. D.; COACKLEY B. J.; ALLEN P. A. & WATTS A. B. 1991: Simulation of foreland basin stratigraphy using a diffusion model of mountain belt uplift and erosion: an example from the central Alps, Switzerland. *Tectonics*, 10 (3), pp.599-620.

ZEGARRA J., Sección Geológica Boquerón Padre Abad, 1964-1965.

ANEXOS

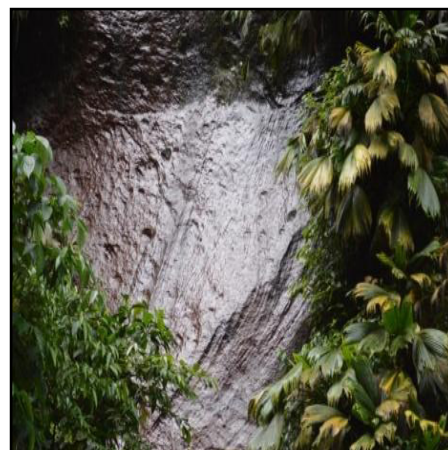
ANEXOS: FOTOS & FIGURAS

Fotos 1: Calizas negras con fuerte olor a hidrocarburo, interpretadas anteriormente como Grupo Pucará, y en este estudio como Fm. Shinai, Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 008 del mapa de la Figura 27).	120
Fotos 2: Capas rojas con facies aparentemente eólico interpretada anteriormente como Fm. Sarayaquillo, y Fm. Nia inf. En este estudio. Ubicada principalmente en la escama frontal donde tienen en exposición de 1600 m de espesor aproximadamente, Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 014 del mapa de la Figura 27).	120
Foto 3: Bancos de areniscas de la Fm. Cushabatay correspondiente a areniscas cuarzosas sub redondeadas de tipo fluvial, Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 016 del mapa de la Figura 27).	121
Foto 4: Intercalaciones de niveles pelíticos que conforman la Formación Raya, Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 017 del mapa de la Figura 27).	121
Fotos 5: Niveles de lutitas y calizas de la Fm. Chonta con fuerte inclinación (izquierda), y areniscas cuarzosas de la Fm. Vivian, Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 019 del mapa de la Figura 27).	122
Fotos 6: Capas Rojas terciarias, siempre presentes al fin de cada bloque limitado por corrimientos, carretera Tingo María - Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 003 y BOQ 024, del mapa de la Figura 27). Su litología la conforman intercalaciones de lutitas, limos y areniscas con tonalidad rojiza.	122
Fotos 7: Relleno de conglomerados de edad probablemente plioceno-pleistoceno, carretera Tingo María - Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 030 del mapa de la Figura 27).	123
Fotos 8: Niveles de areniscas que conforman la Fm Ipururo, parte del flanco este de la estructura de San Matías, río Palcazu (estación PALC 001 del mapa de la Figura 29).	124
Fotos 9: Bancos de arenas finas cremas con presencia de bioturbación identificado como la Fm. Vivian, río Palcazu (estación PALC 005 del mapa de la Figura 29).	124
Foto 10: Estratos de crecimiento reconocidos dentro de la Fm Vivian, río Palcazu (estación PALC 005 del mapa de la Figura 29).	125
Fotos 11: Niveles de lutitas negras y calizas (Fm. Shinai) que conforman la base de la sección en la Serranía San Matías (izquierda). Niveles de areniscas cuarzosas finas cremas (derecha) sobreyaciendo a la Fm Shinai posiblemente parte de la Fm Lower Nia (estación SM-003 Y SM-004 del mapa de la Figura 31).	126

Fotos 12: Bancos de areniscas cuarzosas que conforman posiblemente la Fm. Lower Nia de la Serrania San Matías (estación SM-001 Y SM-001 del mapa de la Figura 31).....	126
Fotos 13: Areniscas cuarzosas redondeadas a subredondeadas con estratificación cruzada pertenecientes a las facies eólicas de la Fm. Lower Nia de la Serrania San Matías (estación SM-007 del mapa de la Figura 31).	127
Fotos 14: Cantera de conglomerados polimigticos con presencia de clastos volcano-sedimentarios pertenecientes al Gpo Mitu de la Serrania San Matías (estación SM-009 del mapa de la Figura 31).	127
Anexo 1: Mapa Geológico elaborado por el convenio IRD- PERUPETRO(2014).....	128
Anexo 2: Mapa Base ubicando las secciones sísmicas interpretadas a lo largo de la sub-cuenca Pachitea.	129
Anexo 3: Sección sísmica PP10707-32, interpretada utilizando el nuevo modelo estratigráfico propuesto por la presente tesis.	130
Anexo 4: Sección sísmica PP10707-28, interpretada utilizando el nuevo modelo estratigráfico propuesto por la presente tesis.	131
Anexo 5: Sección sísmica G35-609, interpretada utilizando el nuevo modelo estratigráfico propuesto por la presente tesis.	132
Anexo 6: Interpretación de la sección sísmica compuesta G35-603 & G35-450; ubicación en Anexo 2 (modificado de Hermoza, 2005).....	133
Anexo 7: Mapa Estructural de la base Cretácica en tiempo.	134
Anexo 8: Vista 3D de las secciones AA' y BB' con el mapa geológico, tomada s de Midland Valley Move.....	135
Anexo 9: Vista 3D de las sección CC' con el mapa geológico, tomada de Midland Valley Move.	136



Fotos 1: Calizas negras con fuerte olor a hidrocarburo, interpretadas anteriormente como Grupo Pucará, y en este estudio como Fm. Shinai, Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 008 del mapa de la Figura 27).



Fotos 2: Capas rojas con facies aparentemente eólico interpretada anteriormente como Fm. Sarayaquillo, y denominadas Fm. Nia Inferior en este estudio. Ubicada principalmente en la escama frontal donde tienen en exposición de 1600 m de espesor aproximadamente, Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 014 del mapa de la Figura 27).



Foto 3: Bancos de areniscas de la Fm. Cushabatay correspondiente a areniscas cuarzosas sub redondeadas de tipo fluvial, Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 016 del mapa de la Figura 27).



Foto 4: Intercalaciones de niveles pelíticos que conforman la Formación Raya, Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 017 del mapa de la Figura 27).



Fotos 5: Niveles de lutitas y calizas de la Fm. Chonta con fuerte inclinación (izquierda), y areniscas cuarzosas de la Fm. Vivian, Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 019 del mapa de la Figura 27).



Fotos 6: Capas Rojas terciarias, siempre presentes al fin de cada bloque limitado por corrimientos, carretera Tingo María - Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 003 y BOQ 024, del mapa de la Figura 27). Su litología la conforman intercalaciones de lutitas, limos y areniscas con tonalidad rojiza.



Fotos 7: Relleno de conglomerados de edad probablemente plioceno-pleistoceno, carretera Tingo María - Boquerón Padre de Abad (estación BOQ 030 del mapa de la Figura 27).



Fotos 8: Niveles de areniscas que conforman la Fm Ipururo, parte del flanco este de la estructura de San Matías, río Palcazú (estación PALC 001 del mapa de la Figura 29).



Fotos 9: Bancos de arenas finas cremas con presencia de bioturbación identificado como la Fm. Vivian, río Palcazu (estación PALC 005 del mapa de la Figura 29).

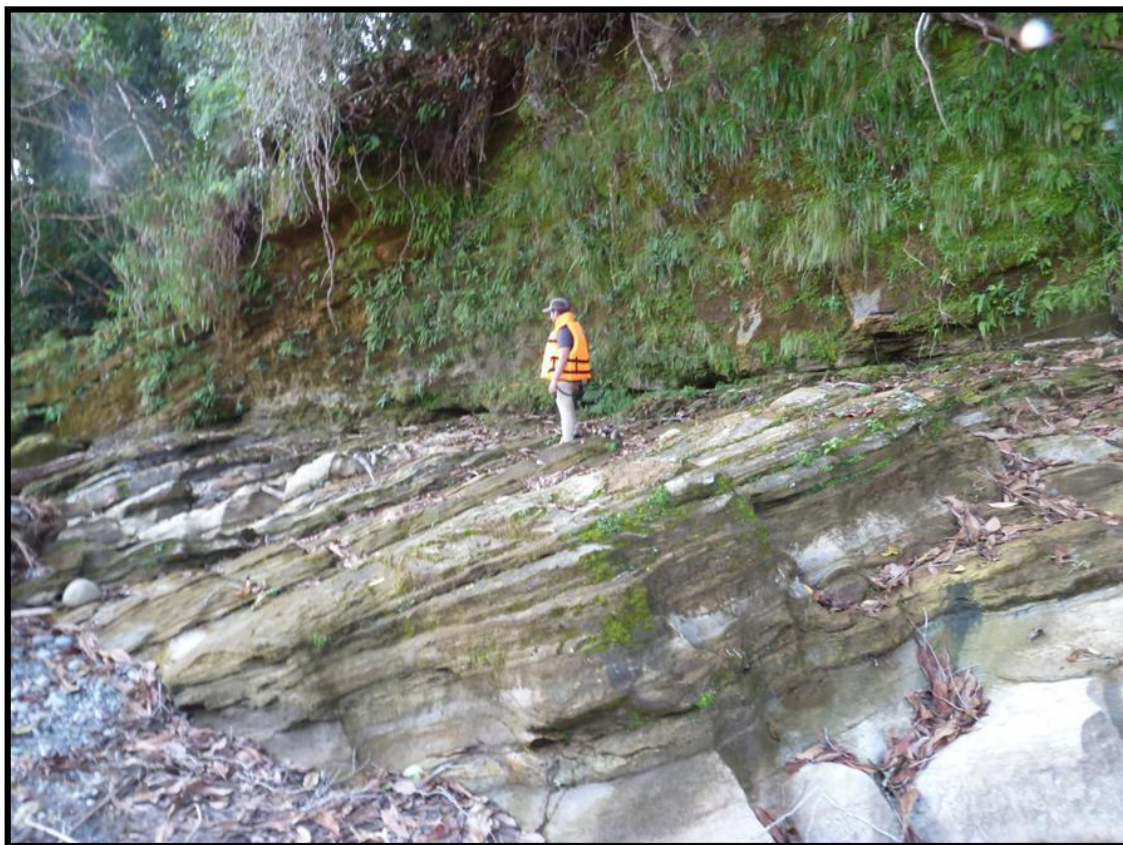


Foto 10: Estratos de crecimiento reconocidos dentro de la Fm Vivian, río Palcazu (estación PALC 005 del mapa de la Figura 29).



Fotos 11: Niveles de lutitas negras y calizas (Fm. Shinai) que conforman la base de la sección en la Serranía San Matías (izquierda). Niveles de areniscas cuarzosas finas cremas (derecha) sobreyaciendo a la Fm Shinai posiblemente parte de la Fm Nia Inferior (estación SM-003 Y SM-004 del mapa de la Figura 31).



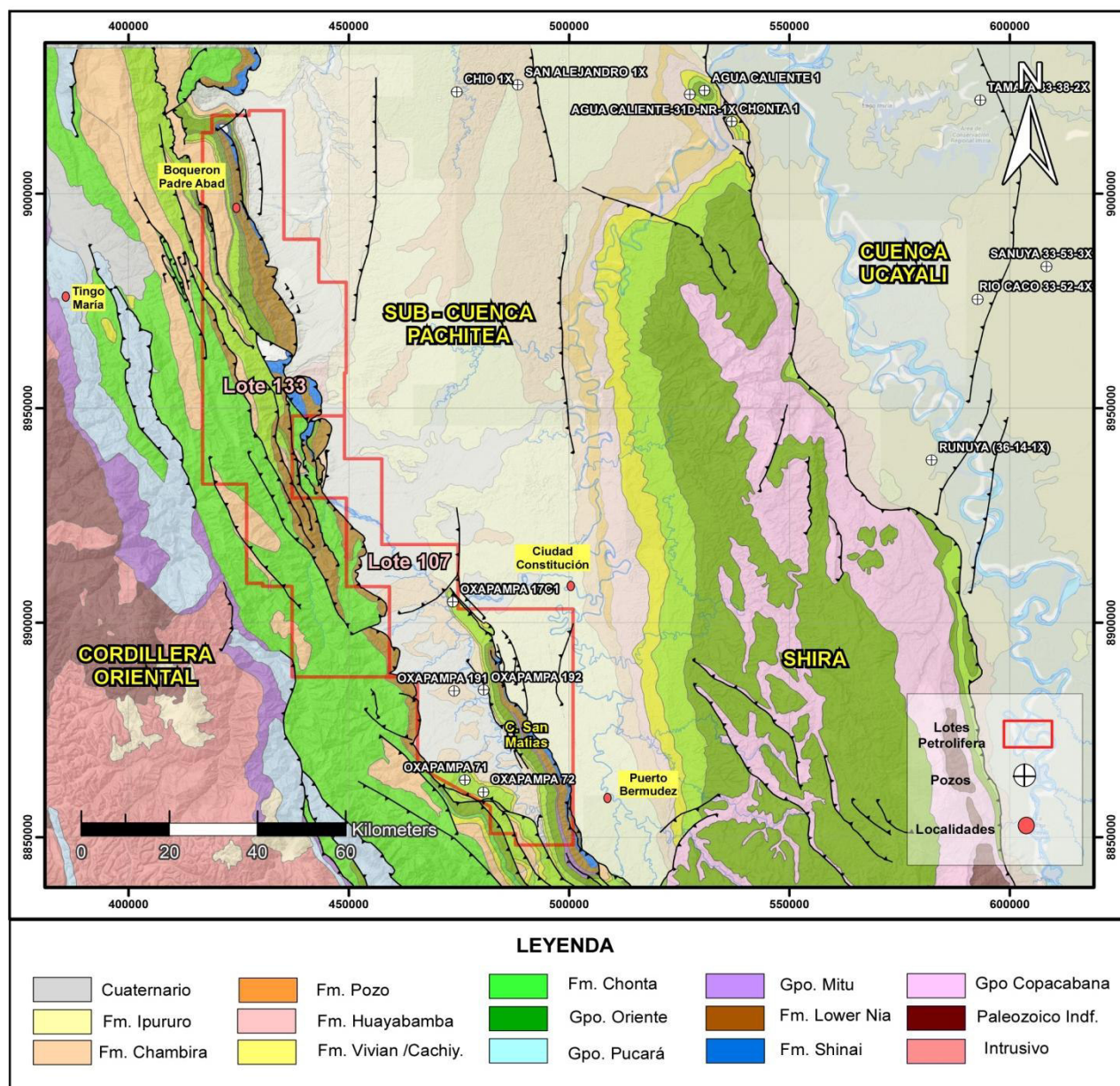
Fotos 12: Bancos de areniscas cuarzosas que conforman posiblemente la Fm. Nia Inferior de la Serranía San Matías (estación SM-001 Y SM-001 del mapa de la Figura 31).



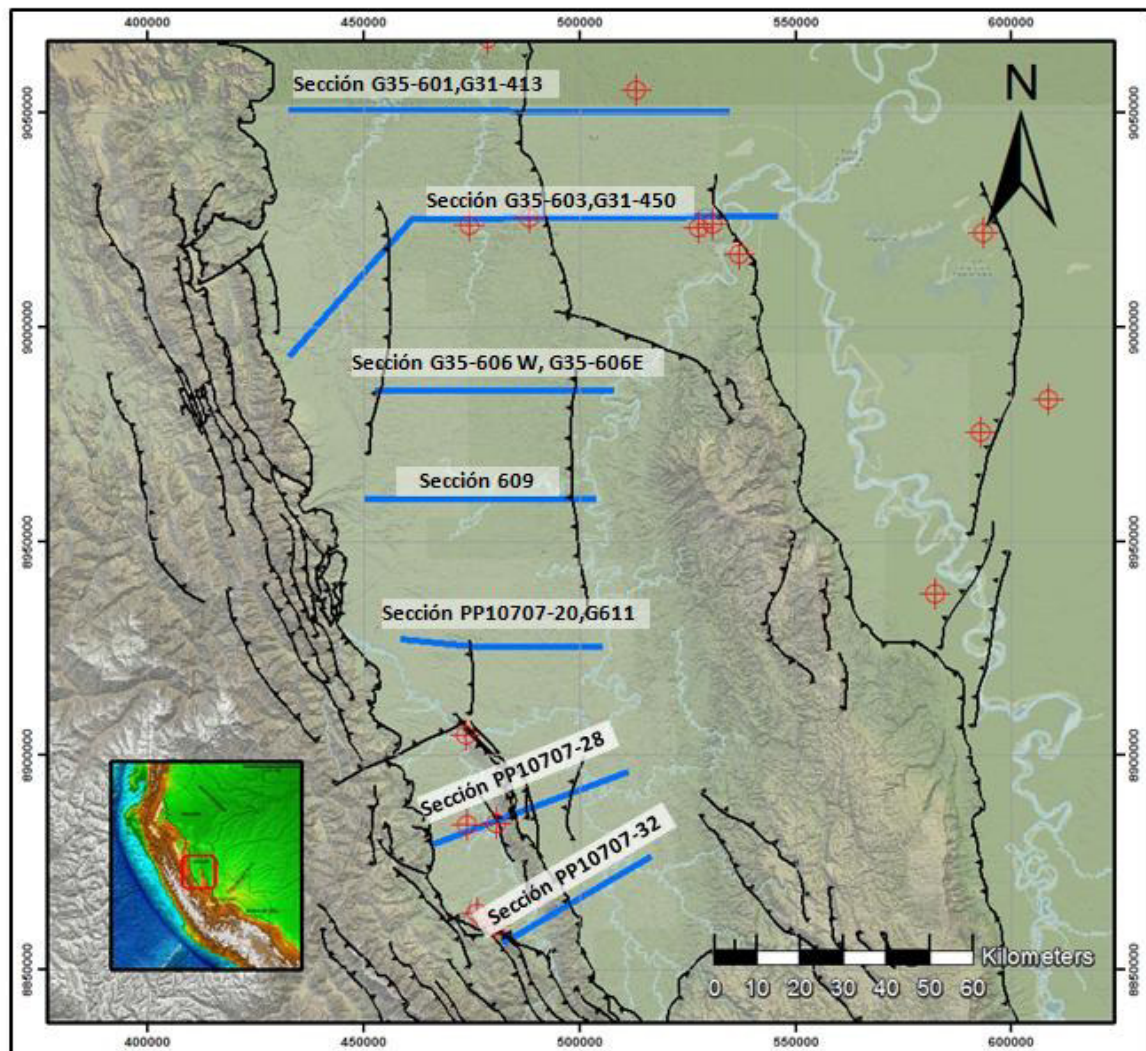
Fotos 13: Areniscas cuarzosas redondeadas a subredondeadas con estratificación cruzada pertenecientes a las facies eólicas de la Fm. Nia Inferior de la Serrania San Matías (estación SM-007 del mapa de la Figura 31).



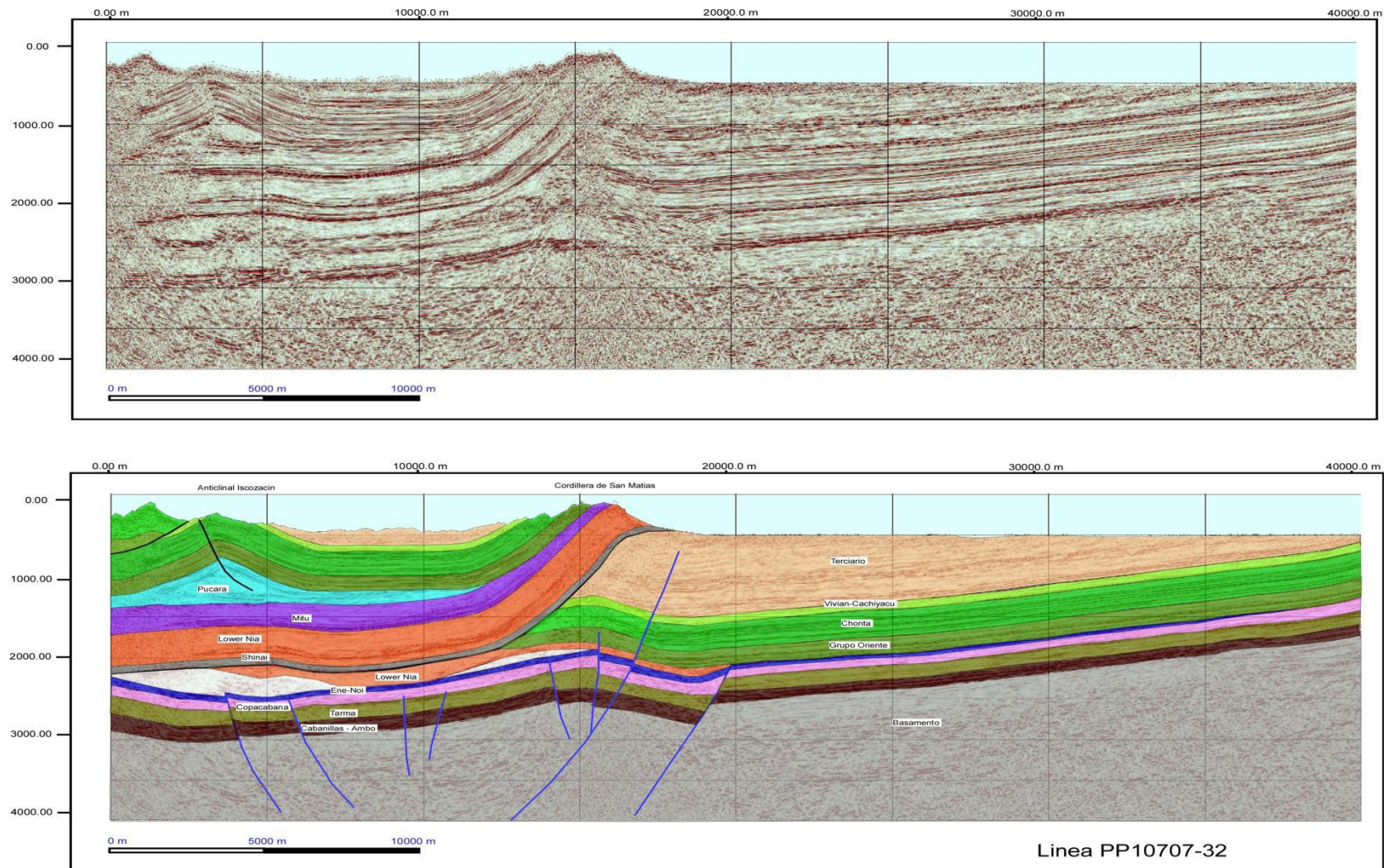
Fotos 14: Cantera de conglomerados polimigticos con presencia de clastos volcano-sedimentarios pertenecientes al Gpo Mitu de la Serrania San Matías (estación SM-009 del mapa de la Figura 31).



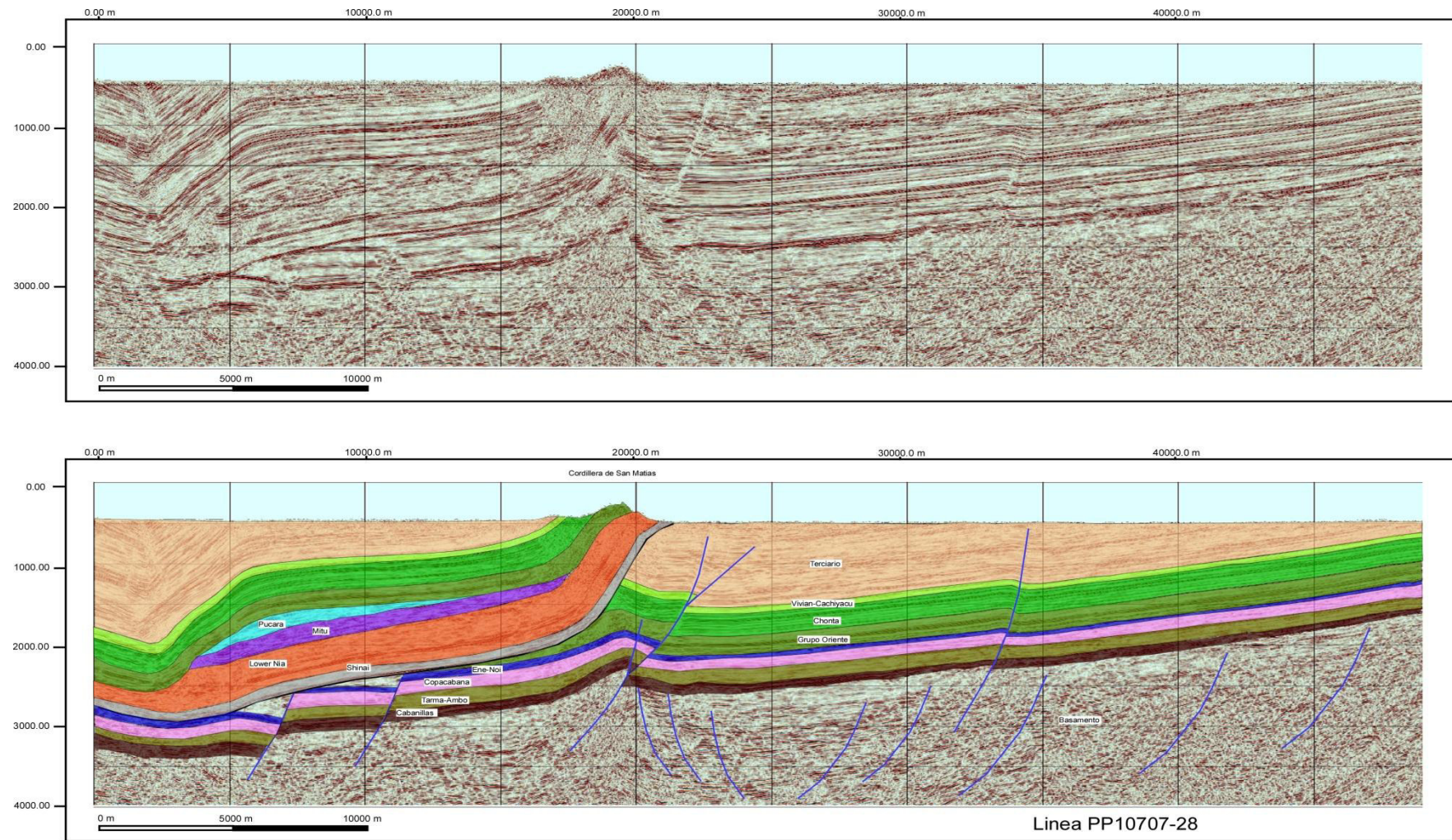
Anexo 1: Mapa Geológico elaborado por el Convenio IRD-PERUPETRO-2014.



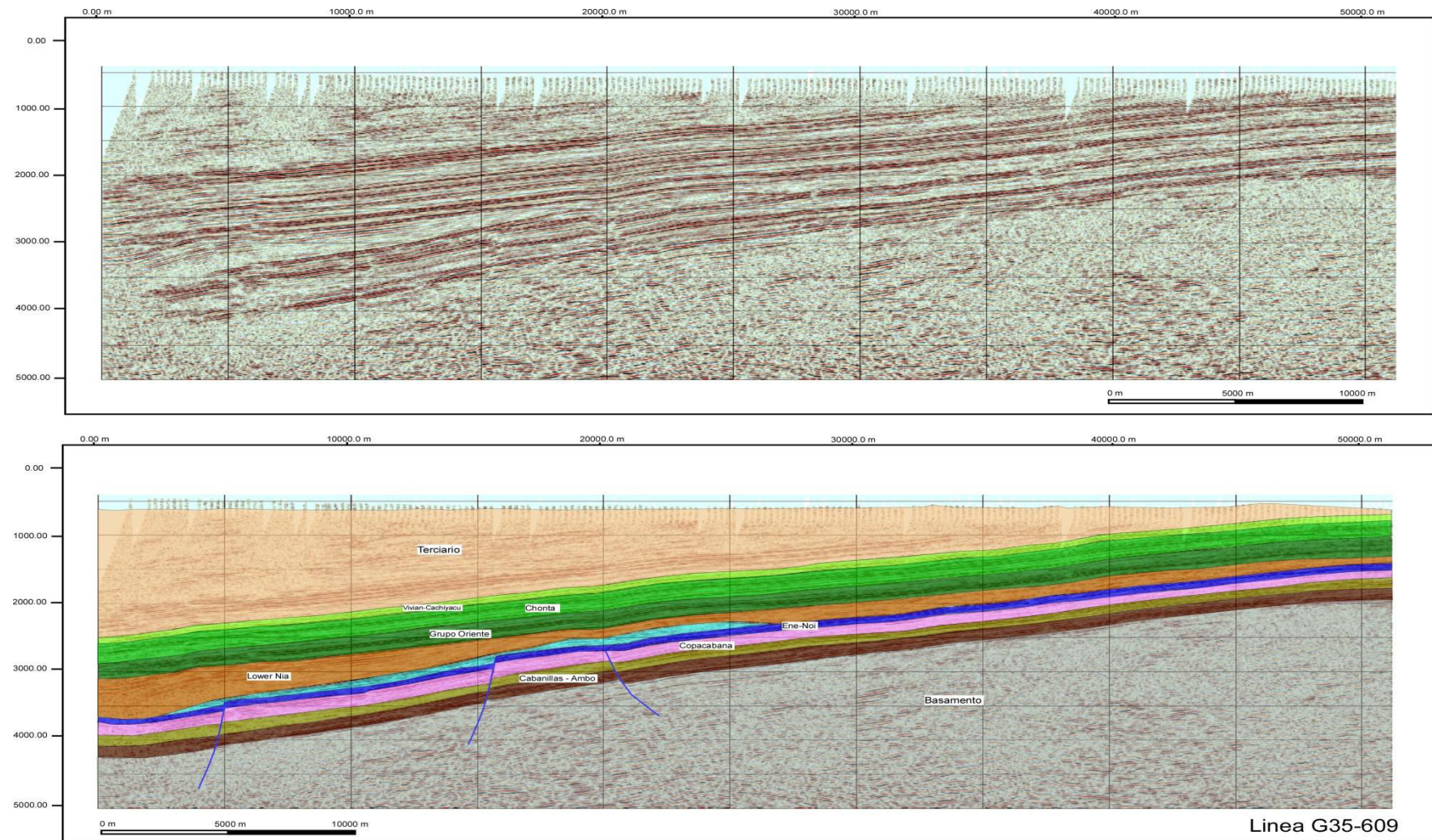
Anexo 2: Mapa Base ubicando las secciones sísmicas interpretadas a lo largo de la sub-cuenca Pachitea.



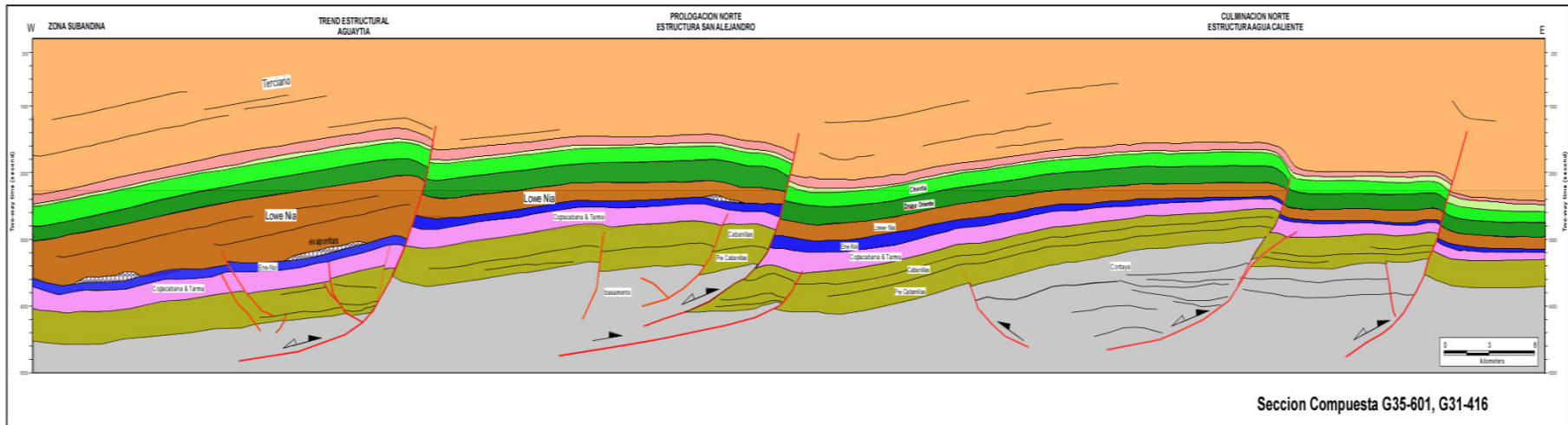
Anexo 3: Sección sísmica PP10707-32, interpretada utilizando el nuevo modelo estratigráfico propuesto por la presente tesis.



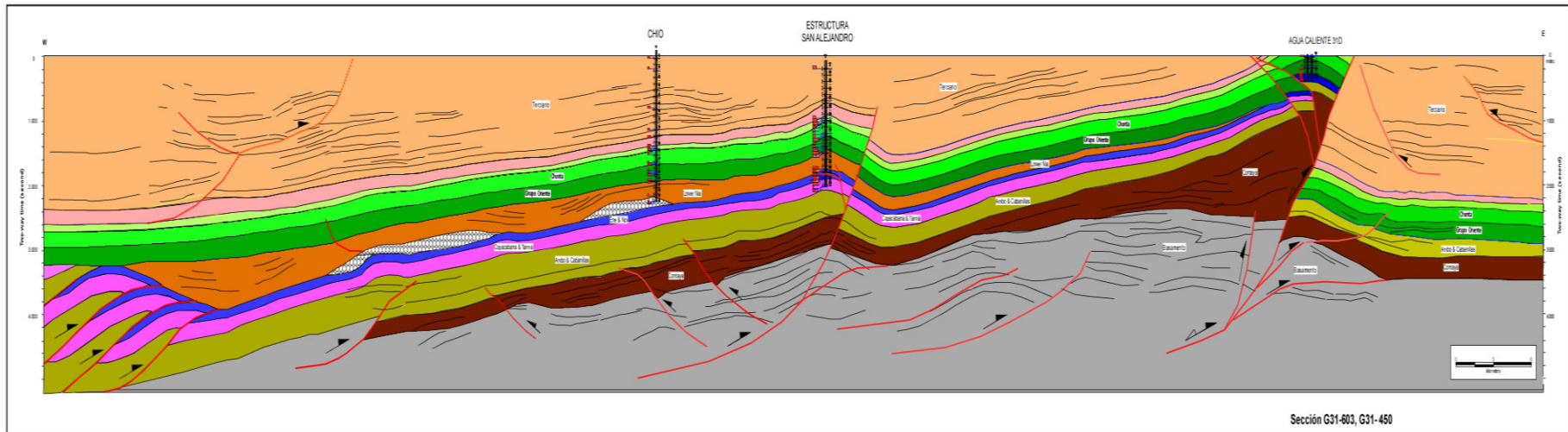
Anexo 4: Sección sísmica PP10707-28, interpretada utilizando el nuevo modelo estratigráfico propuesto por la presente tesis.



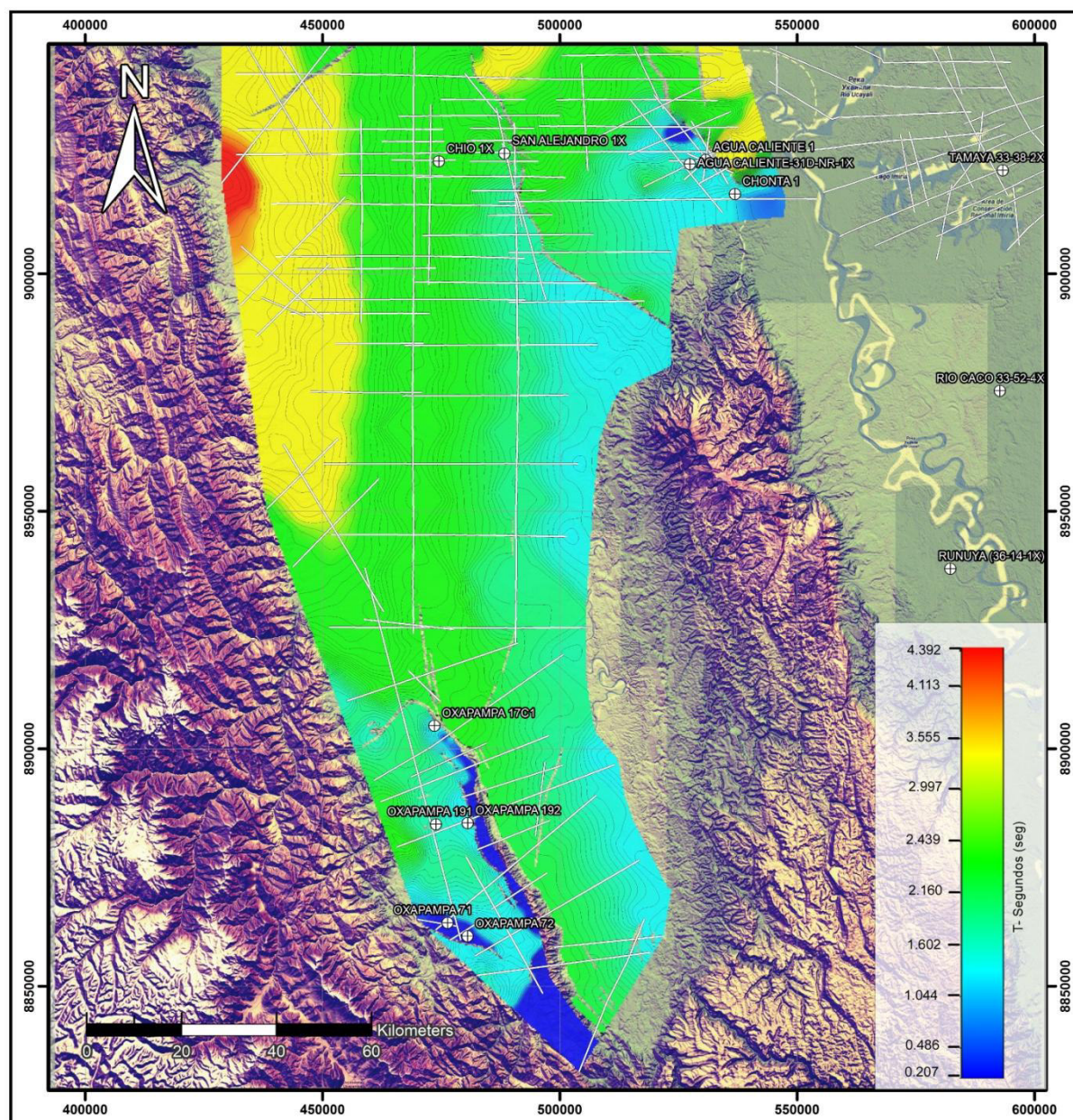
Anexo 5: Sección sísmica G35-609, interpretada utilizando el nuevo modelo estratigráfico propuesto por la presente tesis.



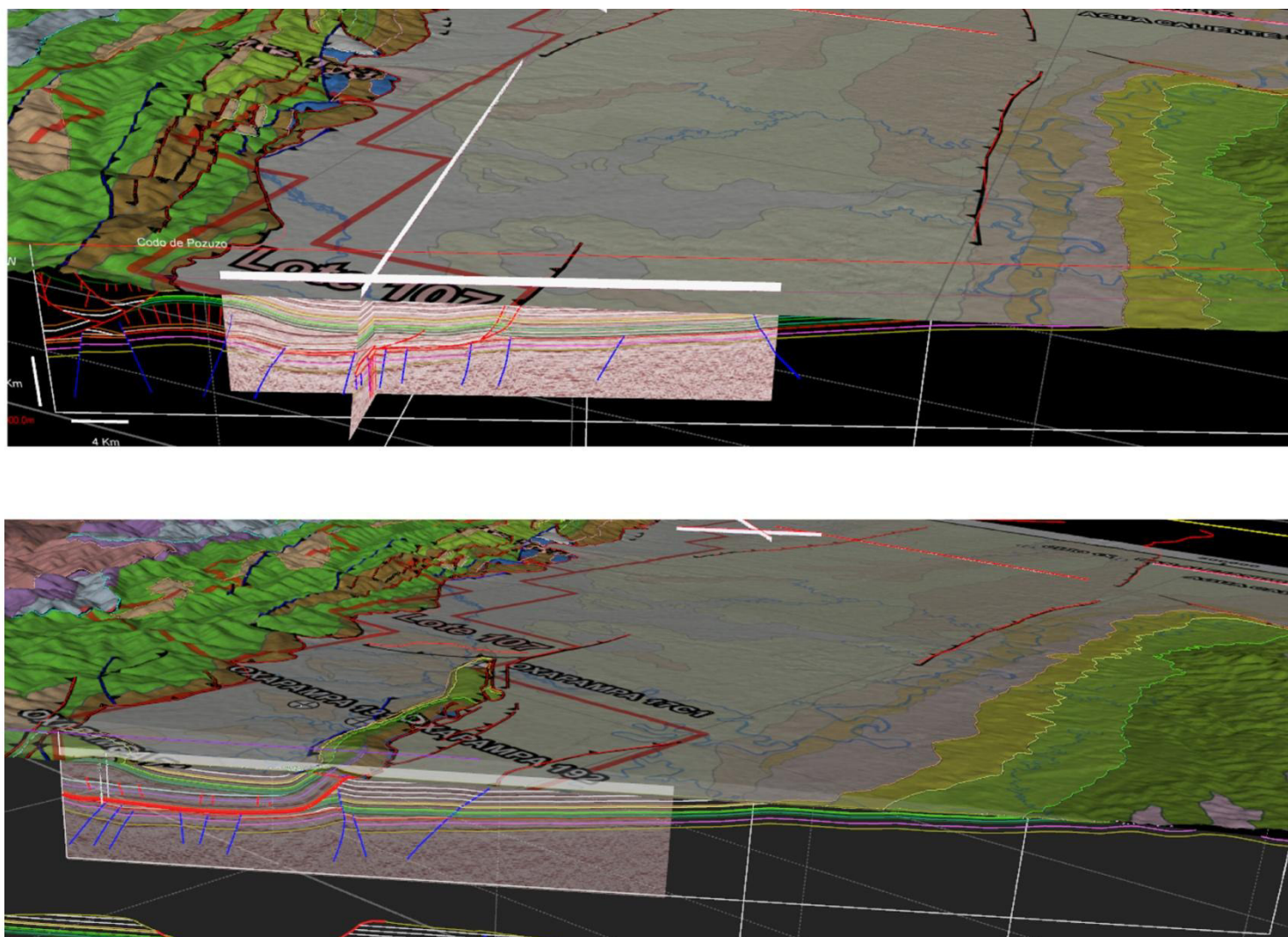
Anexo 5: Interpretación de la sección sísmica compuesta G35-601 & G31-416; ubicación en Anexo 2 (modificado de Hermoza, 2005)



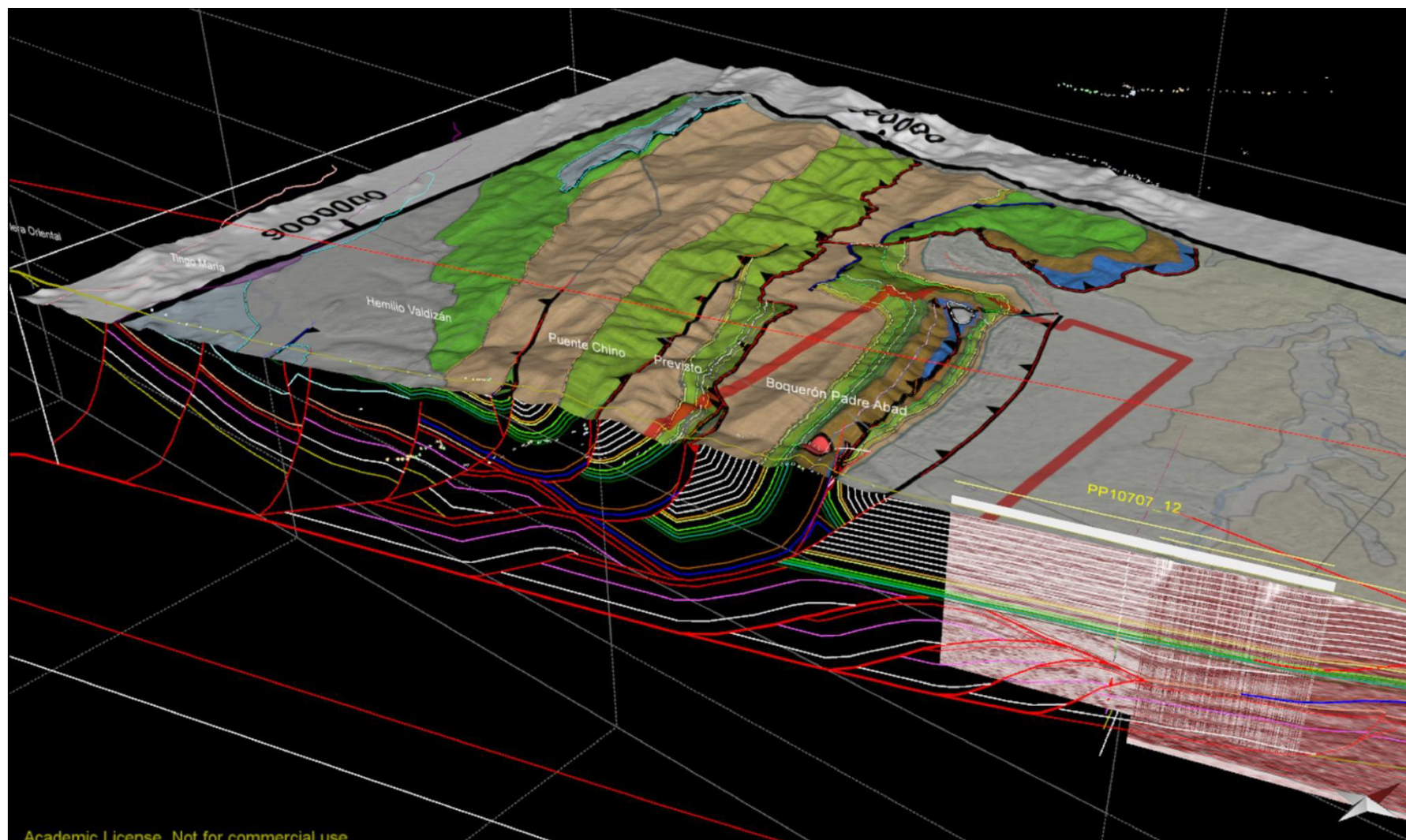
Anexo 6: Interpretación de la sección sísmica compuesta G35-603 & G35-450; ubicación en Anexo 2 (modificado de Hermoza, 2005).



Anexo 7: Mapa Estructural de la base Cretácica en tiempo



Anexo 8: Vista 3D de las secciones AA' y BB' con el mapa geológico, tomadas del Midland Valley Move.



Anexo 9: Vista 3D de las sección CC' con el mapa geológico, tomadas del Midland Valley Move.